

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ  
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)**

УТВЕРЖДАЮ  
Зав. кафедрой ТУ  
\_\_\_\_\_ Т.Р.Газизов  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2017 г.

Методические указания для практической и самостоятельной работы студентов  
по дисциплине  
**«Системы записи аудио- и видеосигналов»**  
для студентов специальности  
11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

РАЗРАБОТАЛ  
старший преподаватель каф. ТУ  
\_\_\_\_\_ А.Ю. Латышев  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

Латышев А.Ю. Системы записи аудио- и видеосигналов: Методические указания для практической и самостоятельной работы студентов. – Томск: кафедра ТУ, ТУСУР, 2017. – 28 с.

© Латышев А.Ю., 2017

© Кафедра Телевидения и управления, ТУСУР, 2017

## Содержание

1. Методические указания к программе курса .....	4
2. Задания на контрольные работы .....	4
3. Задание на практические занятия .....	6
4. Краткие теоретические сведения .....	8
4.1. Процесс записи на магнитный носитель .....	8
4.2. Волновые характеристики идеализированного тракта воспроизведения .....	9
4.3. Поле магнитной головки .....	12
4.4. Расчет параметров магнитной головки .....	13
4.5. Устройства видеозаписи .....	16
4.5.1. Устройства с поперечной видеозаписью .....	16
4.5.2. Формирование сигнала записи .....	18
4.5.3. Устройства наклонной видеозаписи .....	19
4.5.4. Расчет магнитограммы видеомэгнитофона .....	21
4.6. Устройства лазерной звукозаписи .....	22
4.6.1. Общие положения .....	22
4.6.2. Следящие системы лазерных проигрывателей .....	23
4.6.3. Расчет ошибки регулирования системы радиального слежения .....	25
5. Список литературы .....	28

## 1. Методические указания к программе курса.

Одним из главных условий успеха при самостоятельном изучении дисциплины является удачный подбор литературных источников. В конце настоящей работы приведен список рекомендованной литературы. Учебное пособие [1] является наиболее полным по данной программе. Из списка дополнительной литературы в наибольшем количестве в библиотеке являются конспекты лекций [9], [10]. Более детальные и глубокие сведения по отдельным разделам программы можно получить из специализированных изданий, также имеющих в списке дополнительной литературы. Так, например, в [2] можно найти сведения по первому разделу программы; второй раздел довольно подробно изложен в изданиях [3], [4] и [6], а по третьему разделу можно рекомендовать книгу [5]. К четвертому разделу, кроме [1] и [10] можно рекомендовать специальный труд [7], а к пятому разделу очень полезно добавить книгу [8].

Особое внимание при изучении дисциплины следует обратить на суть физических процессов, происходящих в процессе взаимодействия записывающей и воспроизводящей головок с движущимся магнитным носителем, так как на сегодняшний день устройства магнитной записи в общем потоке записываемой и особенно записанной ранее информации занимает очень большое место. Также очень важно понять, почему высокие качественные показатели аналоговых аудиомагнитофонов принципиально недостижимы; почему возникает необходимость перехода к устройствам цифровой записи, несмотря на значительно большую сложность и стоимость аппаратуры цифровой записи.

## 2. Задания на контрольные работы

Учебным планом предусмотрены 2 контрольные работы. В работе №1 выполняется расчет магнитной головки. В работе №2 производится расчет волновых характеристик тракта записи-воспроизведения. Исходные данные для расчетов содержатся в таблицах 1 и 2. Расчетные формулы имеются в настоящем пособии (разделы 4.2., 4.3., 4.4.). Номер варианта соответствует порядковому номеру студента в списке группы, имеющемуся в деканате.

В контрольной работе №1 рассчитываются 6 параметров в порядке, описанном в разделе 4.4. настоящего пособия, а затем по формулам, имеющимся в разделе 4.3, рассчитывается напряженность магнитного поля в точке, находящейся над центром рабочего зазора магнитной головки на высоте (координата  $y$ ), равной половине ширины рабочего зазора  $\delta$ . При этом необходимо учесть, что координата  $x$  в этой точке равна нулю (см. Рис.5).

В контрольной работе №2 по формулам (4), (5), (6) рассчитываются коэффициенты волновых, слойных и контактных потерь, строятся графики по типу Рис.3а, 3б, 3в, а затем, путем их перемножения составляется таблица и строится график типа Рис.3г. Перемножать графики необходимо для одинаковых частот (длин волн  $\lambda$ ).

Затем домножением полученных данных на  $\delta/\lambda$  (примерно 10 точек в диапазоне отношения  $\delta/\lambda$  от 0 до 1) получаем зависимость, аналогичную рис.4. и определяем полосу пропускания канала записи-воспроизведения по уровню – 3 дБ (0.707 от максимального значения графика рис. 4).

Оформлять контрольные работы можно либо в обычной ученической тетради, либо на белых листах 4 формата, скрепив их степлером, либо иным способом (но не скрепкой).

На титульном листе необходимо указать Фамилию, И.О., номер группы и название дисциплины, по которой выполнены контрольные работы.

Таблица 1. Параметры магнитной головки

Параметр № варианта	$\delta$ мкм	$\delta_1$ мкм	$\mu$ с		$I_0$ , ма	$l_{cp}$ , мм	a, мм	a1, мм	b, мм	w
1	2	20	40000		2	16	1	5	2	20
2	3	25	50000		4	26	1	6	1	30
3	1.5	12	70000		3	30	1.4	7	2	25
4	1	8	100000		1.5	25	1	4	1	40

Продолжение таблицы 1. Параметры магнитной головки

Параметр № варианта	$\delta$ мкм	$\delta_1$ мкм	$\mu$ с		$I_0$ , ма	$l_{cp}$ , мм	a, мм	a1, мм	b, мм	w
5	0,8	7	80000		2	28	1,2	5	2	35
6	1,5	12	90000		2	30	1,5	6	3	30
7	2	18	60000		3	26	1	4	2	26
8	1,6	14	70000		6	24	1,2	3	2	30
9	2	18	85000		5	30	1,5	3	1,5	35
10	1,2	8	100000		4	36	2	4	1,2	40
11	0,8	7	85000		6	35	1	3,5	1,4	45
12	1	5	80000		5	40	1,4	3	1,2	35
13	1,4	10	75000		8	46	1,5	3	1	40
14	1,7	16	85000		6	42	1,4	3,5	0,9	50
15	2	15	90000		4	38	1	2	1	38
16	1,4	9	85000		7	48	1,1	3	1,5	40
17	1	7	90000		10	40	2	5	2	30
18	1,5	9	75000		4	36	1,4	4	1,6	35
19	2	14	100000		3	40	2	4	1,5	50
20	0,9	8	80000		15	38	1,5	3,5	2	48

Таблица 2. Параметры к заданию на контрольную работу №2

Параметр № варианта	V мм/сек	d, мкм	C, мкм
1	50	2	0,3
2	40	2,5	0,15
3	65	2,2	0,2
4	70	1,8	0,4
5	38	1.6	0,3
6	80	2,2	0,3
7	65	3	0,35
8	75	2,8	0,25
9	55	3	0,3
10	68	4	0,4

Параметр № варианта	V мм/сек	d, мкм	c, мкм
11	80	2	0,25
12	100	5	0,3
13	90	3	0,35
14	48	2,5	0,18
15	60	2,4	0,25
16	56	4	0,4
17	50	3	0,2
18	80	2,5	0,25
19	100	3,5	0,3
20	45	4	0,2

### 3. Задание на практические занятия

Учебным планом предусмотрено 2 четырехчасовых практических занятия:

1. Расчет магнитограммы видеоманитофона.

Расчет ведется по методике, изложенной в разделе 4.5.4. Исходные данные для расчета берутся из таблицы 3. После завершения расчета необходимо дать чертеж магнитограммы, подобный Рис. 10, но выполненный с сохранением масштаба.

2. Расчет качества регулирования системы радиального слежения проигрывателя лазерных компакт-дисков.

Расчет ведется по методике, изложенной в разделе 4.6.3. Исходные данные для расчета берутся из таблицы 4. Результатом расчета является величина модуля функции ошибки регулирования (формула (36)).

Таблица 3. Параметры магнитограммы видеоманитофона.

Параметр № вар.	$B$ мм	$H$ min мкм	$\Delta H$ мкм	$F$ max МГц	$K =$ $\frac{\lambda_{\min}}{\delta}$	$\delta$ мкм
1	25,4	80	30	10	3	0,5
2	8	35	0	7	2,5	0,3
3	12,6	40	15	5,5	2,7	0,4
4	12,6	50	20	10	2	0,5
5	8	40	0	6	2,5	0,4
6	25,4	60	20	12	2	0,4
7	19	55	15	8	2,5	0,3
8	19	40	0	11	2	0,3
9	12,6	50	15	12	2,5	0,45
10	12,6	45	0	8,5	2	0,4
11	8	45	10	7	2	0,3
12	12,6	70	10	8	1,5	0,4
13	25,4	100	25	15	1,6	0,5
14	12,6	55	0	10	2	0,6
15	12,6	70	10	9	1,8	0,4
16	8	35	0	7,5	3	0,3
17	19	50	10	12	1,5	0,4
18	12,6	70	0	14	1,5	0,5
19	8	65	15	9	1,8	0,35
20	25,4	120	20	15	1,6	0,8

Таблица 4. Параметры системы радиального слежения.

Параметр № вар.	$K_1$	$T_1$ мсек	$T_2$ мсек	$T_3$ мсек	$\xi$	$\Omega$ 1/сек	$X_0$ мкм
1	600	100	150	90	0,9	60	60
2	550	90	120	70	1	55	70
3	800	85	140	85	1,1	70	80
4	750	100	160	85	0,95	90	75
5	900	90	155	95	0,85	100	55
6	1000	85	140	80	0,97	950	75
7	800	90	135	60	1,1	800	85
8	850	100	170	75	1,05	850	70
9	700	70	140	70	0,95	900	65
10	800	80	145	70	1,05	1000	57
11	900	75	155	80	1	970	85
12	880	85	125	55	0,95	880	90
13	900	70	130	70	0,95	850	75
14	1000	80	140	75	1,1	950	66
15	950	90	125	60	1,05	1000	58
16	860	110	155	70	0,9	800	49
17	880	100	145	75	0,85	900	55
18	960	90	140	80	1,1	870	65
19	900	95	135	60	1	960	75
20	1000	95	155	65	0,95	890	80

## 4. Краткие теоретические сведения

### 4.1. Процесс записи на магнитный носитель.

В процессе записи на магнитном носителе формируется магнитограмма, то есть, магнитный след, остающийся на пленке (диске) в результате взаимодействия носителя с записывающей магнитной головкой. За исключением особых, очень редких случаев, намагничивание носителя ведется вдоль направления его движения. Невозможно выполнить идеальное продольное намагничивание, не проникая внутрь магнитного носителя, а действуя на него

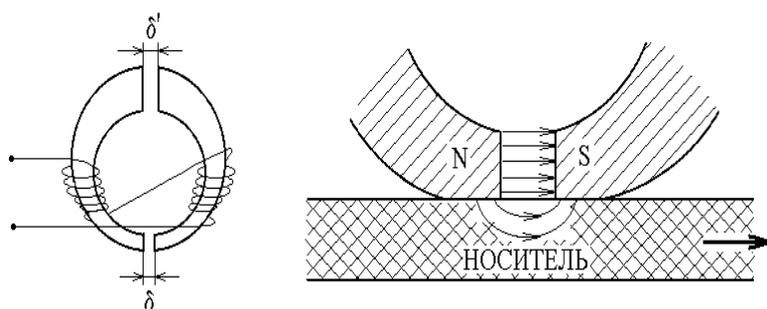


Рис. 1 Магнитная головка

только внешне, со стороны. Даже самые совершенные магнитные головки имеют поперечные составляющие поля в области взаимодействия с носителем.

Магнитные головки выполняются в виде замкнутого магнитопровода с двумя зазорами, на который наматывается обмотка.

Обычно головки имеют тороидальную форму (Рис.1.). Рабочий зазор  $\delta$  и тыловой зазор  $\delta_1$  заполняется немагнитным материалом (обычно бронза), а основная часть магнитопровода головки изготавливается из магнитомягкого материала (пермаллой, сендаст и т.п.) с высокой магнитной проницаемостью  $\mu$ . Поскольку на зазоре получается резкий скачок магнитной проницаемости, в районе зазора образуется краевое поле, которое и используется для контакта с магнитным носителем (Рис.1.). Конечно, основная часть магнитного потока головки замыкается внутри рабочего зазора, и на краевые поля выходит его очень незначительная часть. Так что для записи информации поле, генерируемое головкой, используется крайне неэффективно. Однако другого способа пока не придумали и все носители с продольным намагничиванием работают на краевых полях магнитных головок. На рис 1 показано, что носитель движется вправо. Скорость движения будем обозначать буквой  $v$  (мм/сек).

Тыловой (дополнительный) зазор магнитной головки  $\delta_1$  предназначен для уменьшения остаточного намагничивания головки при записи. Большинство головок используется как для записи, так и для воспроизведения, поэтому наличие тылового зазора в них обязательно. Если головка только воспроизводящая, то тыловой зазор не нужен.

Толщина магнитопровода головки определяется шириной дорожки записи и колеблется от единиц миллиметров в устройствах аудиозаписи до десятков микрон в устройствах видеозаписи. Ширина рабочего зазора  $\delta$  колеблется от долей до единиц микрон. Ширина тылового зазора  $\delta_1$  обычно составляет несколько десятков микрон.

#### 4.2. Волновые характеристики идеализированного тракта воспроизведения

Рассмотрим некую идеализированную ситуацию, когда имеется магнитная лента толщиной рабочего слоя  $d$  с относительной магнитной проницаемостью  $\mu \approx 1$ , движущаяся с постоянной скоростью мимо головки с зазором  $\delta$  при наличии воздушной прослойки (рис.2). При этом будем считать, что рабочий слой однородно намагничен по толщине гармоническим сигналом, то есть, на пленке сделана запись идеальной записывающей головкой, а между пленкой и головкой существует воздушный зазор  $c$ .

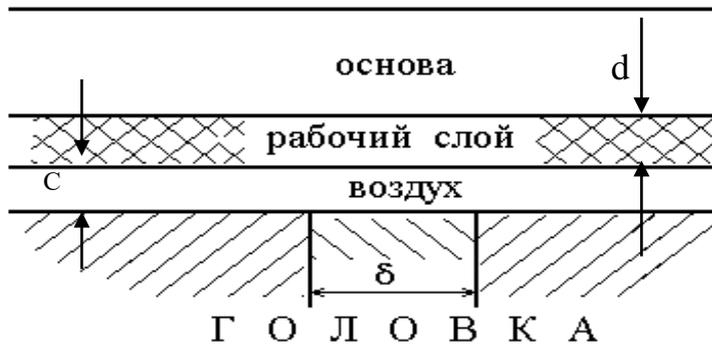


Рис.2 Лента над магнитной головкой

Рабочая поверхность головки имеет бесконечную протяженность, магнитная проницаемость сердечника головки  $\mu_c \rightarrow \infty$ . Остаточный магнитный поток в носителе:

Рабочая поверхность головки имеет бесконечную протяженность, магнитная проницаемость сердечника головки  $\mu_c \rightarrow \infty$ . Остаточный магнитный поток в носителе:

Остаточный магнитный поток в носителе:

$$\Phi_r = \Phi_{r0} \sin \frac{2\pi}{\lambda} x = \Phi_{r0} \cdot \sin \Omega x, \quad (1)$$

где  $\lambda$  - отношение скорости движения магнитной ленты  $v$  к частоте сигнала (в Герцах);

Определим магнитный поток в сердечнике воспроизводящей головки  $\Phi(x)$ :

$$\Phi(x) = \int_c^{c+d} dy \int_{-\infty}^{\infty} \eta_x(l, y) \Phi_r(x-l) dl \quad (2)$$

где  $\eta_x(l, y)$  – функция чувствительности воспроизводящей головки, аналог импульсной характеристики для линейных электрических цепей[1];

Выражение  $\eta_x(l, y)$  имеет следующий вид:

$$\eta_x(l, y) = \frac{1}{2\pi\delta} \left[ \text{arctg} \frac{l+\delta}{y} - \text{arctg} \frac{l-\delta}{y} \right] \quad (3)$$

Подставляя (1) и (3) в (2) и интегрируя по обеим переменным, получаем:

$$\Phi(x) = \Phi_{r0} K_\delta K_c K_d \sin \Omega x, \quad \text{где: } \Omega = \pi/\lambda;$$

$$K_\delta = \sin \Omega \delta / \Omega \delta - \text{коэффициент щелевых потерь}; \quad (4)$$

$$K_c = e^{\frac{-2\pi c}{\lambda}} - \text{коэффициент контактных потерь}; \quad (5)$$

$$K_d = \frac{1 - e^{-\frac{2\pi d}{\lambda}}}{\frac{2\pi d}{\lambda}} \text{ коэффициент слойных потерь.} \quad (6)$$

График коэффициента щелевых потерь приведен на рис.3а. Наличие этих потерь связано с конечным размером рабочего зазора  $\delta$ . Если отношение  $\delta/\lambda$  мало, то коэффициент  $K_\delta$  близок к единице, так как на протяжении зазора  $\delta$  намагниченность носителя практически постоянна. Если же  $\lambda$  и  $\delta$  соизмеримы, то на протяжении зазора  $\delta$  часть носителя будет намагничена в одну сторону, а часть – в другую, в результате чего поток в головке будет уменьшаться. В частности, при  $\lambda = \delta$  отдача носителя вообще равна нулю, так как разность магнитных потенциалов между гранями головки равна нулю. Следовательно, для эффективной записи и воспроизведения высоких частот необходимо уменьшать зазор  $\delta$  или увеличивать  $\lambda$ , то есть, скорость движения носителя. В аппаратуре магнитной записи используются такие параметры головок и скорость движения носителя при которых  $\lambda_{\min} = (1,5 \div 2)\delta$ , где  $\lambda_{\min}$  – длина волны на магнитограмме максимальной частоты в спектре записываемого сигнала. Так что практически можно использовать только левую половину первого лепестка рис. 3а.

График коэффициента контактных потерь представлен на рис. 3в. Природа этих потерь связана с тем, что пленка неплотно прижата к головке и часть магнитного потока не уходит в головку, а замыкается через воздушный зазор. Влияние этого зазора очень велико. Например, при  $C = \lambda$  отдача носителя в головку уменьшается более чем в 500 раз. Поэтому плотность прилегания пленки к головке (величина неконтакта) и постоянство этого неконтакта в процессе воспроизведения имеет важнейшее значение.

График коэффициента слойных потерь приведен на рис. 3б. Природа этих потерь чем-то схожа с потерями неконтакта. Действительно, всю толщину рабочего слоя носителя можно мысленно представить в виде многих элементарных, тонких слоев. Тогда понятно, что более удаленные от головки слои будут слабее связаны с полем головки и не вся толщина намагниченного носителя будет иметь одинаковую отдачу.

На рис. 3г. представлен график произведения  $K_p = K_\delta K_c K_d$ . Из него ясно видно, что частотная характеристика тракта воспроизведения крайне неблагоприятна

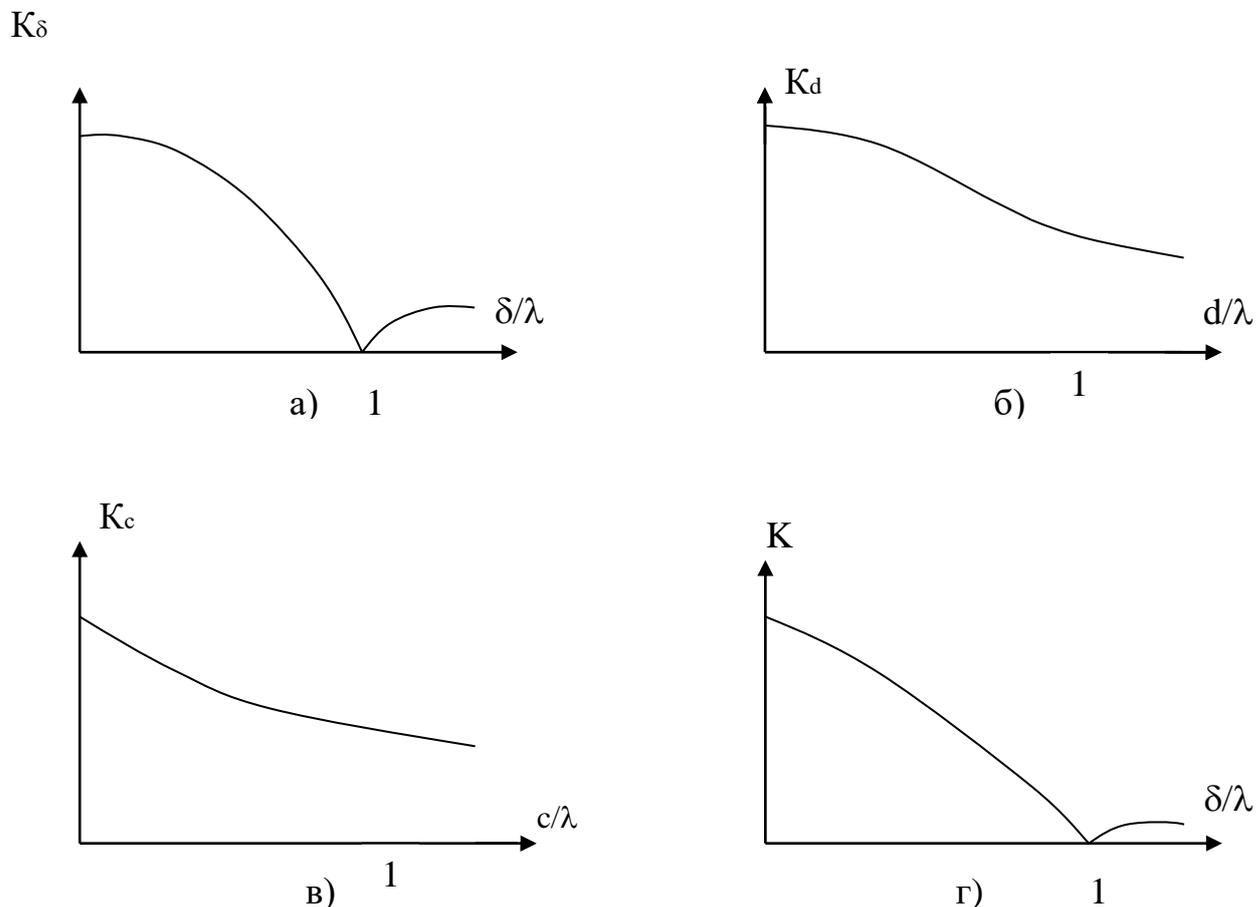


Рис.3. Волновые характеристики тракта воспроизведения

Напомним, что мы обсуждаем частотную характеристику по магнитному потоку в головке воспроизведения. Если же говорить об ЭДС на обмотке головки, то, согласно закону электромагнитной индукции, нужно продифференцировать функцию магнитного потока во времени:

$$|E| = \frac{d\Phi}{dt},$$

что фактически наложит на график зависимости рис. 3г. необходимость умножения его на линейно растущую функцию (диапазон отношения  $\delta/\lambda$  от 0 до 1, достаточно 10 точек). Это определяется свойством гармонического сигнала: чем больше его частота, тем при той же амплитуде выше значение производной. Результатом такого домножения на рис. 4 представлена частотная характеристика идеализированного тракта воспроизведения.

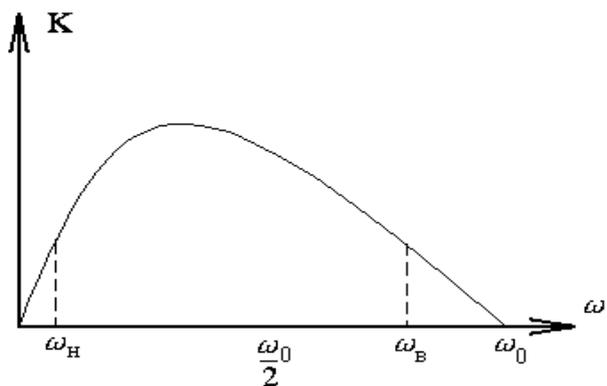


Рис.4. Частотная характеристика

На рис.4 индексом  $\omega_0$  обозначено:  $\omega_0 = 2\pi \frac{v}{2\delta}$ , где  $v$  - скорость движения носителя. Из этой зависимости можно сделать очень важные выводы:

1. Частоты, близкие к нулю и к  $\omega_0$ , не могут быть воспроизведены магнитной головкой.

2. Если расширить АЧХ в область верхних частот принципиально возможно, увеличивая скорость носителя или уменьшая ширину рабочего зазора головки, то в области очень

низких частот завал АЧХ исключить невозможно.

### 4.3. Поле магнитной головки.

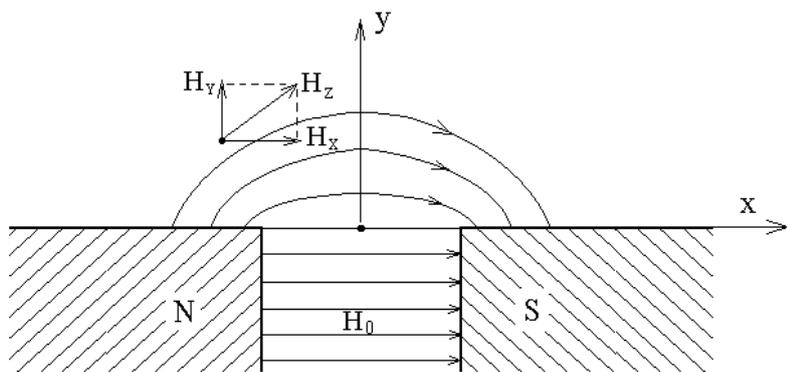


Рис.5. Поле магнитной головки

На рис.5 изображен фрагмент сечения магнитной головки в районе рабочего зазора.

Ширину рабочего зазора обозначим  $\delta$ . В любой точке над поверхностью головки ( $y > 0$ ) краевое магнитное поле  $H_z$  можно разложить на продольную  $H_x$  и поперечную  $H_y$  составляющие. При этом горизонтальная и вертикальная

составляющие поля записываются следующим образом [1]:

$$H_x = \frac{H_0}{\pi} \left( \operatorname{arctg} \frac{x + \frac{\delta}{2}}{y} - \operatorname{arctg} \frac{x - \frac{\delta}{2}}{y} \right) \quad (7)$$

$$H_y = \frac{H_0}{2\pi} \ln \frac{y^2 + \left(\frac{\delta}{2} + x\right)^2}{y^2 + \left(\frac{\delta}{2} - x\right)^2} \quad (8)$$

На рис.6 зависимости (7) и (8) изображены в виде семейств графиков

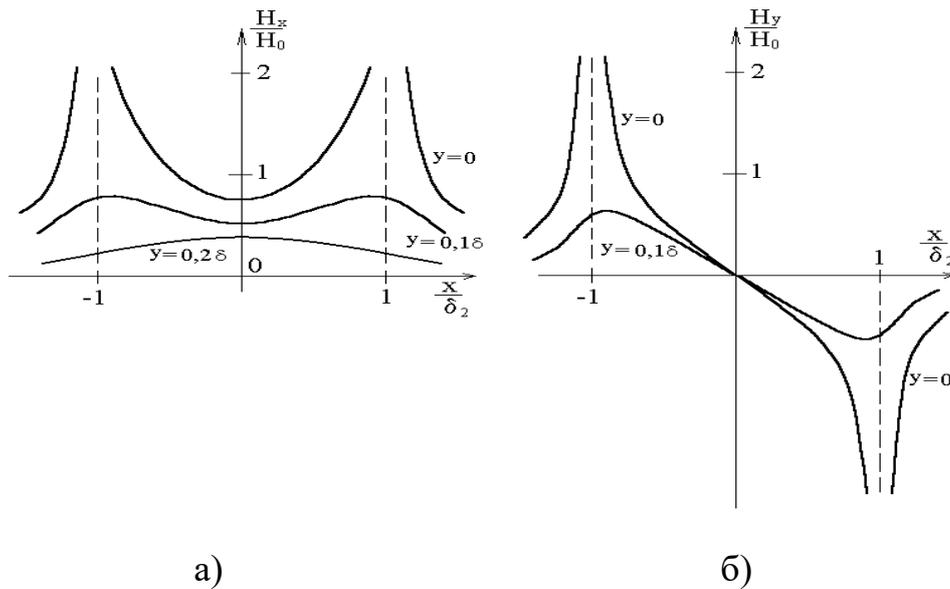


Рис.6. Графические зависимости поля над магнитной головкой

Особый интерес представляют графики для параметра  $y = 0$ , то есть, поле на поверхности головки. Из рис.6, в частности, следует, что над гранями рабочего зазора как продольная, так и поперечная составляющие магнитного поля стремятся к бесконечности. В таком случае запись вести нельзя, так как носитель будет всегда в насыщении. Но этого не происходит. Во-первых, картина поля очень сильно зависит от радиуса закругления граней рабочего зазора. Чисто прямоугольными они не бывают никогда. Малейшая же округленность граней приводит к уменьшению высоты выбросов на графиках рис.6. Во-вторых, носитель никогда не может быть абсолютно плотно прижат к поверхности головки, так как при движении носителя относительно головки между ними всегда имеется воздушная прослойка. И, наконец, нужно помнить, что толщина рабочего слоя магнитной пленки соизмерима и даже больше, чем ширина зазора  $\delta$ , поэтому большая часть магнитного слоя проходит на значительной высоте от поверхности головки.

Поскольку мы говорим об устройствах с продольным намагничиванием магнитного носителя, то наибольший интерес представляет рис.3а. Учитывая вышесказанное, можно считать, что подавляющее большинство частичек магнитного носителя при движении мимо записывающей головки подвергается воздействию поля по зависимости, имеющей характер колоколообразного импульса, то есть, «одногогорбой» кривой.

#### 4.4. Расчет параметров магнитной головки

На рабочие характеристики магнитной головки влияют её геометрические размеры, материал, используемый при её изготовлении, и число витков в обмотке головки. На рис.7 показаны основные размеры магнитной головки, используемые при её расчете:

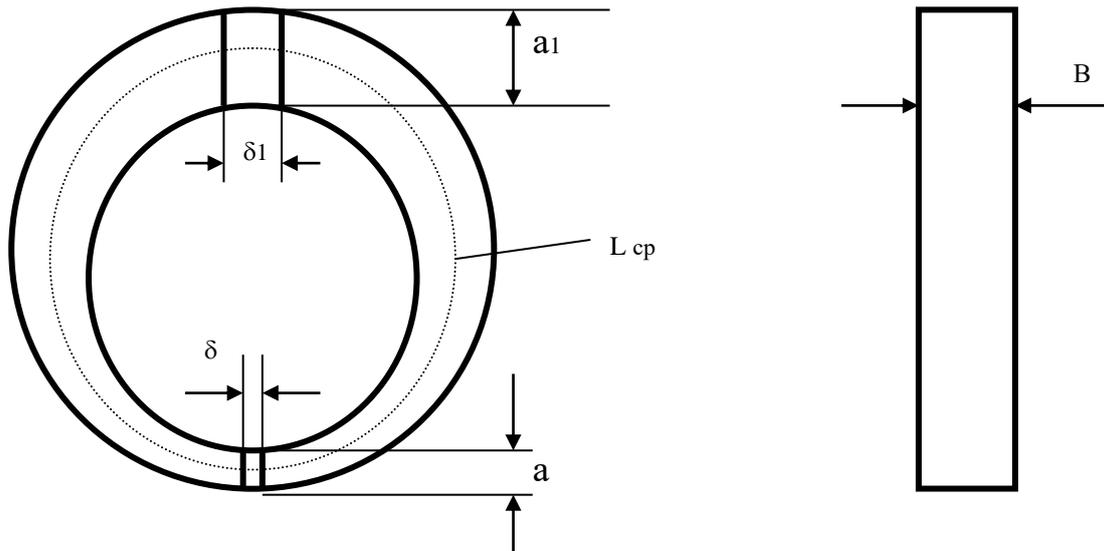


Рис.7. Основные размеры магнитной головки

- $B, a$  –размеры сечения магнитопровода в районе рабочего зазора;  
 $B, a_1$  –размеры сечения магнитопровода в районе тылового зазора;  
 $\delta$  - ширина рабочего зазора;  
 $\delta_1$ - ширина тылового зазора;  
 $\mu_c$  – относительная магнитная проницаемость материала сердечника;  
 $l_{cp}$  – средняя длина магнитопровода (пунктирная линия на рис.7)  
 $W$  – число витков обмотки магнитной головки.

Расчет головки ведется в следующей последовательности:

1. Полное магнитное сопротивление по периметру головки:

$$R_m = R_\delta + R_{\delta_1} + R_c, \text{ где}$$

- $R_\delta$  - магнитное сопротивление рабочего зазора (заполнен бронзой с  $\mu = 1$ );  
 $R_{\delta_1}$  - магнитное сопротивление тылового зазора (заполнен бронзой с  $\mu = 1$ );  
 $R_c$  – магнитное сопротивление магнитопровода головки (магнитомягкий материал с  $\mu_c \gg 1$ )

Соответствующие расчетные формулы имеют вид [3]:

$$R_\delta = \frac{\delta}{\mu_0 ab} \quad R_{\delta_1} = \frac{\delta_1}{ab \mu_0} \quad R_c = \frac{l_{cp}}{\mu_c \mu_0 a_1 b} \quad (9)$$

где  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  ;

Размерность магнитного сопротивления – 1/Гн.

2. Магнитный поток в сердечнике:

$$\Phi_c = I_0 w / R_m \quad (10)$$

Размерность значения магнитного потока - (Вебер);

3. Индукция в рабочем зазоре:

$$B_0 = \Phi c / ab \quad (11)$$

Размерность значения индукции - Тесла;

4. Напряженность магнитного поля в рабочем зазоре:

$$H_0 = B_0 / \mu_0 \quad (12)$$

Размерность напряженности поля – (ампер/метр)

5. Магнитная проницаемость головки:

$$\mu = \frac{\mu_c}{1 + \left( \frac{a_1 \delta}{al_{cp}} + \frac{\delta_1}{l_{cp}} \right)} \quad (13)$$

6. Коэффициент самоиндукции головки:

$$L = \frac{w^2}{Rm} \quad (\text{Генри}). \quad (14)$$

7. Э.д.с. воспроизведения головки:

$$E = K w v d\Phi/dx, \quad (\text{вольты}). \quad (15)$$

где:  $\Phi$  – остаточный магнитный поток в носителе. Для магнитных лент, используемых в бытовой магнитной звукозаписи,  $\Phi_0=250$  нВб на метр ширины магнитной дорожки. Более высокие уровни остаточного намагничивания приводят к росту нелинейных искажений;

$x$ – координата вдоль дорожки записи;

$v$  – скорость движения ленты;

$K$  – коэффициент эффективности головки, показывающий, какая часть магнитного потока ленты замыкается через магнитопровод корпуса головки. Ясно, что этот коэффициент всегда меньше единицы. Согласно [2], этот коэффициент, называемый иногда эффективностью головки, равен:

$$K = \frac{1}{1 + \frac{l_{cp}ab}{\delta a_1 b \mu_c}} \quad (16)$$

Поскольку звук, записываемый на магнитофон, имеет большой динамический диапазон и широкий спектральный состав, э.д.с. воспроизведения определяется всегда на какой-либо определенной частоте, чаще всего на частоте 1 кГц.

Остаточный магнитный поток в носителе, на который сделана запись гармонического сигнала, можно записать следующим образом:

$$\Phi(x) = \Phi_0 \text{Sin} \frac{2\pi x}{\lambda} \quad (17)$$

Подставляя (2) в (1), с учетом того, что

$$\text{Sin} \frac{2\pi x}{\lambda} = \text{Sin} \frac{\omega x}{v},$$

получаем выражение для э.д.с. воспроизводящей головки:

$$E = K\omega w\Phi_0 \cos \frac{\omega x}{v}, \quad (18)$$

где  $\omega$  - круговая частота записанного сигнала.

Чтобы посчитать как изменяется э.д.с. во всем диапазоне записываемых частот, эту формулу необходимо домножить на определенные в п. 4.2 коэффициенты  $K_s K_c K_d$ .

#### 4.5. Устройства видеозаписи

Данный материал представляет интерес для понимания основ видеозаписи в теоретическом плане, а также для использования его при расчете магнитограммы видеоманитфона.

##### 4.5.1. Устройства с поперечной видеозаписью.

Необходимость консервации телевизионных программ возникла практически сразу после начала телевизионного вещания. Конечно, широко известные преимущества магнитной записи привлекали телевизионщиков всегда, но долгие годы очевидное препятствие казалось непреодолимым. Этим препятствием являлся очень широкий диапазон частот, занимаемый спектром телевизионного видеосигнала, а точнее, высокий коэффициент перекрытия по частоте. Так, например, для записи самого качественного аудиосигнала коэффициент перекрытия составляет 1000 (20 Гц÷20 кГц), и уже при таком сравнительно небольшом коэффициенте перекрытия, как было показано ранее, возникают серьезные проблемы с реализацией приемлемых качественных показателей тракта записи-воспроизведения магнитофона. Для спектра телевизионного сигнала коэффициент перекрытия по частоте в 130 раз больше (50 Гц÷6,5 мГц), что не оставляет никаких шансов тем разработчикам, кто хотел бы записывать ТВ сигнал тем же способом, каким пишется сигнал в аудиоманитфонах. Кроме того, сложность для записи представляет и абсолютное значение верхней частоты (6,5 мГц) в спектре ТВ сигнала. Как было показано ранее, для получения более или менее терпимых частотных искажений необходимо выполнить условие, при котором минимальная длина волны на поверхности магнитного носителя хотя бы в 1,5÷2 раза превышала ширину рабочего зазора магнитной головки. По состоянию на начало 50-х годов, когда активно начались поиски способов магнитной видеозаписи, имеющиеся технологические возможности не позволяли с высоким качеством изготавливать магнитные головки с зазором менее 2 микронетров. А это значит, как показывает простой расчет, что скорость движения ленты должна достигать около 25 метров в секунду.

Далеко не каждый магнитофон обеспечивает такую скорость даже в режиме перемотки. Именно все эти обстоятельства обусловили столь долгие попытки создать первый промышленный видеоманитфон, отвечающий стандартам качества ТВ вещания.

К началу 50-х годов ни у кого не вызывало сомнений необходимость поиска иных принципов организации записи ТВ сигналов, в корне отличающихся от используемых ранее. Стало очевидным, что в магнитной видеозаписи нужна революция, принципиально новые идеи. Прорыв был предпринят в самом неожиданном месте: были придуманы и технически реализованы быстро вращающиеся магнитные головки, что позволило в десятки раз уменьшить скорость движения магнитной ленты. При этом видеоголовки закреплялись на быстро вращающемся диске, плоскость которого располагалась перпендикулярно плоскости ленты и вектору её движения. Диск вращался со скоростью 250 оборотов в секунду и имел 4 головки, расположенные на диске под углом 90 градусов друг относительно друга. Таким образом, в секунду на магнитную ленту, движущуюся со скоростью около 40 сантиметров в секунду, наносились 1000 магнитных дорожек.

На каждой такой дорожке размещался фрагмент телевизионного изображения, содержащий обязательно целое число строк телевизионной развёртки. Конечно, ничего подобного нельзя сделать при записи звука: ведь звуковой сигнал непрерывен и всякие разрывы и коммутации приводят к неприятным и совершенно недопустимым щелчкам при воспроизведении.

Совсем иное дело – телевизионный сигнал. Он не является непрерывным, так как передаётся отдельными "кусочками" (кадрами и строками), каждый из которых можно записывать и воспроизводить отдельно, своей вращающейся головкой, выстраивая при воспроизведении в непрерывную цепь электронными коммутаторами. При этом никаких скачков зритель не заметит, так как коммутации можно производить в течение кадровых или строчных импульсов, когда экран телевизора всё равно бланкируется по яркости. Звук же можно записывать традиционным способом неподвижной головкой на отдельную дорожку, расположенную по краю магнитной ленты.

Как всякая революция, идея вращающихся головок породила массу проблем: как располагать отдельные фрагменты записи на ленте, сколько строк или кадров телевизионного изображения включать в каждый фрагмент, как обеспечить попадание воспроизводящих головок точно на дорожки записи и удерживать их в таком состоянии на всем протяжении магнитной строчки. Все эти и масса других проблем решались практически одновременно и уже к середине 50-х годов стало ясно, что построение видеомагнитофона, отвечающего всем высоким стандартам телевизионного сигнала, состоялось.

Первыми высококачественными студийными видеомагнитофонами были именно устройства поперечной видеозаписи. Это были исключительно профессиональные устройства для телестудий, так как их цена, габариты, масса, стоимость эксплуатации и необходимость обслуживания высокопрофессиональным персоналом практически исключали массовое использование таких аппаратов в домашних условиях. Ширина магнитной ленты в первых профессиональных видеомагнитофонах с поперечной записью составляла 50 мм, при этом лента наматывалась на катушки (боббины), очень громоздкие и

тяжелые. Использование таких устройств в переносных видеокамерах для видеожурналистов было принципиально невозможно.

#### 4.5.2. Формирование сигнала записи.

Теперь, после рассмотрения вопроса о том, как записывается сигнал в видеомэгнитофоне с поперечной записью, рассмотрим, что записывается, то есть, какие сигналы подаются в записывающие головки. Выше было указано, что записывать видеосигнал напрямую невозможно из-за огромного коэффициента перекрытия по частоте. Поэтому была использована идея с поднесущей частотой и эта идея себя полностью оправдала, так как вращающиеся головки позволили достичь очень больших скоростей записи, а поперечная запись в десятки раз снизила скорость движения ленты и требования к лентопротяжному механизму. Было принято решение использовать в качестве поднесущей частоту  $F_0 = 8,5$  МГц при частотной модуляции с небольшим индексом, при котором спектр частотномодулированного сигнала занимает полосу частот, не шире, чем при амплитудной модуляции.

На рис 8а приведен спектр видеосигнала, а на рис.8б – спектр, полученный после частотной модуляции с малым индексом модуляции ( $\beta=0,1...0,2$ ) поднесущей частоты спектром видеосигнала. Из рис 8 следует, что тракт записи-воспроизведения должен записывать частоты в диапазоне  $2...15$  МГц.

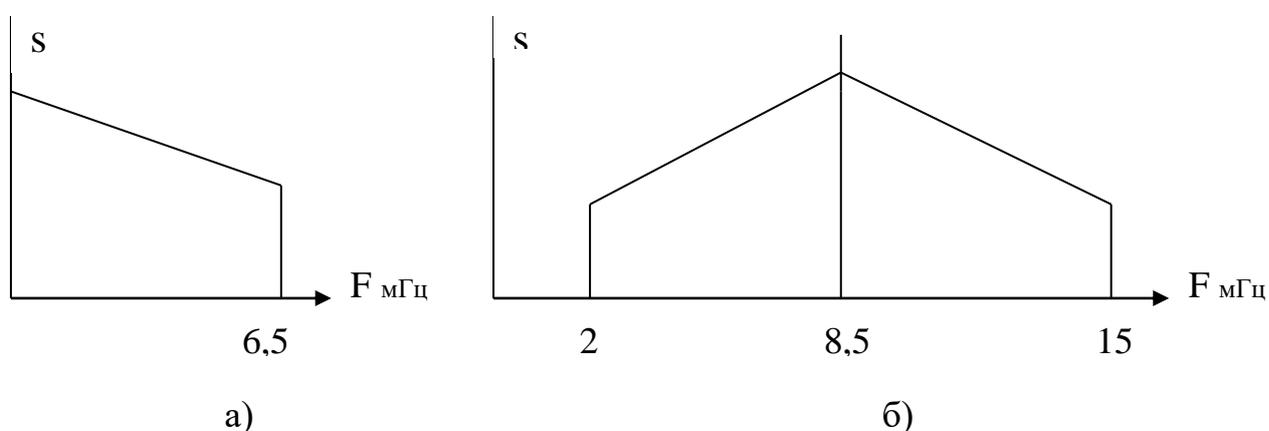


Рис. 8. Спектры видеосигналов

Коэффициент перекрытия по диапазону получается небольшим, но верхняя частота спектра очень высокая. Именно она и определяет столь большую скорость вращения магнитных головок.

Если внимательно присмотреться к сигналу, который записывается на магнитную ленту, то окажется, что, по существу, пишется сигнал постоянной амплитуды, очень напоминающий гармонический, с той лишь разницей, что частота этого сигнала изменяется в процессе записи в незначительных пределах. Действительно, уровню чёрного ТВ изображения соответствует частота  $7,8$  МГц, а уровню белого –  $9,3$  МГц. В этом – большое достоинство избранного метода записи, так как при воспроизведении необходимо прочесть с ленты сигнал

постоянной амплитуды, в котором полезная информация содержится в мгновенном значении частоты. Это намного упрощает проблему борьбы с шумами и помехами в процессе воспроизведения.

Поскольку в Европейских стандартах телевидения за секунду передаётся 15625 строк изображения, а количество магнитных строчек, записываемых за это же время, равно 1000, то на одну строчку записи приходится 15,625 телевизионных строки. Понятно, что рвать телевизионную строчку на части нельзя, поэтому на каждой вертикальной магнитной строчке записи должно укладываться целое число строк телевизионного изображения. Проблему эту решили просто: на части магнитных дорожек записывается 15 строк, а на остальных – 16. Информация о том, на скольких и на каких именно из 1000 магнитных дорожек пишется 15 или 16 строк ТВ сигнала, заносится в электронную память коммутатора, который управляет процессом распределения фрагментов ТВ сигнала по четырём магнитным головкам. Эти данные закреплены международным стандартом.

#### **4.5.3. Устройства наклонной видеозаписи.**

Устройства поперечной видеозаписи имеют очень существенные недостатки. Одним из главных недостатков является то, что телевизионное поле (полукадр) в процессе воспроизведения как бы собирается «по кусочкам», так как каждая из 4 головок считывает только 15 или 16 строк телевизионного изображения, что составляет примерно 1/20 часть размера изображения по вертикали. При заметном отличии характеристик головок, что возможно в процессе как их производства, так и эксплуатации, на экране телевизора может появиться заметная «полосатость», то есть, наличие горизонтальных фрагментов изображения с различными яркостью, контрастностью, четкостью или цветовой насыщенностью.

Другими недостатками можно указать очень большой расход магнитной ленты на запись изображения (около 400 мм<sup>2</sup> на одно телевизионное поле), невозможность ускоренного или замедленного воспроизведения или установка режима «стопкадр». Ранее уже указывалось также на очень большие габариты и вес аппаратуры, что не позволяет встраивать её в переносные комплексы тележурналистики.

Для борьбы с этими недостатками понадобились немалые годы. Во-первых, необходимо было усовершенствовать технологию производства магнитных головок, уменьшив ширину рабочего зазора до долей микрометра (примерно 0,3 мкм.). Во-вторых, были предприняты все меры для того, чтобы одно телевизионное поле записывалось на одной непрерывной магнитной строчке. Поскольку поперек ленты такую длинную строчку разместить не удастся, была реализована идея наклонного размещения (см. рис. 9).

Для хранения ленты в кассетах её ширину стараются брать небольшой, поэтому угол  $\alpha$  получается довольно малым (несколько градусов). На рис.9 кроме наклонных строчек видеозаписи видны 2 продольные магнитные дорожки.

Одна из них – звуковая, часто их бывает две (стерео), а другая – дорожка синхронизации, на которую записывается синхросигнал, используемый в режиме воспроизведения для работы систем автоматического регулирования лентопротяжным механизмом. В рамках данного пособия не будут

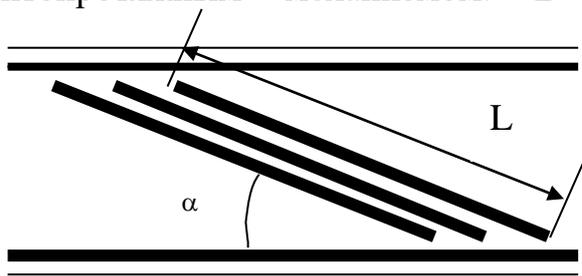


Рис.9. Магнитограмма видеоманитофона с наклонной записью

рассматриваться вопросы записи на эти дорожки, так как собственно видеосигнал на них не пишется.

Рассмотрим центральную часть магнитной видеозаписи, где располагаются наклонные магнитные дорожки с сигналом изображения. На рис 10 в сильно увеличенном масштабе показан короткий фрагмент видеозаписи, содержащий только две соседних магнитных дорожки. На этом

рисунке не выдержаны пропорции. На самом деле, если их выдержать в данном масштабе ширины магнитных дорожек  $h$ , то их длина  $L$  выйдет далеко за пределы рисунка. Две дорожки выбраны потому, что на каждую из них записывается одно телевизионное поле (полукадр), а обе вместе они содержат информацию о полном телевизионном кадре. Частота следования телевизионных полей составляет 50 в секунду, а кадров – 25. Два соседних полукадра записываются разными головками, расположенными на противоположных

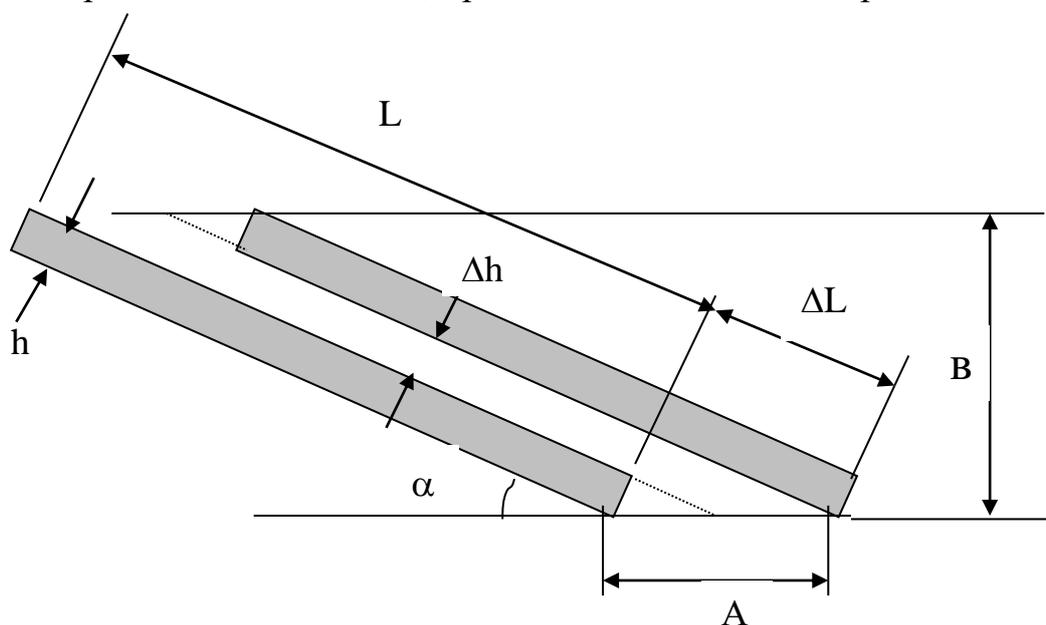


Рис.10. Основные размеры магнитограммы

сторонах диска магнитных головок. Угол охвата магнитной лентой блока (барабана) магнитных головок равен 180 градусов. Таким образом, в контакте с лентой в любой момент времени находится одна головка, затем на смену ей приходит другая, и т.д.

Рассмотрим рис.10. На нем показан вариант размещения магнитных дорожек шириной  $h$  с просветом между дорожками  $\Delta h$ . В бытовых видеомагнитофонах и в некоторых форматах профессиональной видеозаписи просвет  $\Delta h$  отсутствует.

В этом случае необходимо обеспечить разворот рабочих зазоров обеих головок в разные стороны на некоторый угол, чтобы каждая головка в режиме воспроизведения читала свою строку и практически не читала соседнюю. Тем не менее, хотя и в значительно ослабленном виде, головка будет чувствовать сигнал не своей дорожки. Это почти не заметит зритель, если по всей своей длине магнитные строчки (куда входят чуть более 300 строк телевизионной развертки) расположены так, что все строчные синхроимпульсы на соседних дорожках будут располагаться рядом, напротив друг друга. Дело в том, что синхроимпульсы имеют большую амплитуду, и если наводка от них попадет в пределы экрана телевизора, то по экрану будут видны темные вертикальные полосы, что совершенно недопустимо. Именно это обстоятельство накладывает жесткие ограничения на все параметры магнитограммы, показанной на рис.10. В частности, необходимо, чтобы по длине  $\Delta L$  размещалось целое число строк телевизионной развертки. Напомним, что частота следования строк телевизионной развертки во все странах Евро – Азиатского континента составляет 15625 Герц при частоте следования телевизионных полей 50 Гц, откуда частота следования кадров, состоящих из двух полукадров (полей), равна 25 Гц. Именно поэтому в одну секунду на магнитной ленте записываются 50 магнитных строчек, две из которых показаны на рис. 10. Несложный расчет показывает, что в каждое телевизионный кадр входит 625 телевизионных строк, 312 из которых пишутся на одну магнитную строчку видеозаписи, а 313 – на другую.

#### 4.5.4. Расчет магнитограммы видеомагнитофона

Исходными данными для расчета являются:

- ◆ Ширина поля записи на магнитной ленте  $B$  (см. рис.10);
- ◆ Ширина рабочего зазора магнитной головки  $\delta$ ;
- ◆ Коэффициент  $K = \lambda_{min} / \delta$ ;
- ◆ Величина верхней частоты в спектре записываемого сигнала  $F_{max}$  (мГц);
- ◆ Минимальный зазор между дорожками  $\Delta h_{min}$ ;
- ◆ Ширина дорожки магнитной дорожки  $h$ .

1. Расчет начинаем с определения суммарной длины всех 50 магнитных дорожек, записанных за 1 секунду. Напомним, что на этой длине должно уложиться столько длин волн  $\lambda_{min}$ , какова верхняя частота спектра записываемого сигнала:

$$L = K \delta F_{max} / 50; \quad (19)$$

2. Теперь можно определить, под каким углом  $\alpha$  необходимо наклонить магнитную дорожку, чтобы она уместилась в ширину поля магнитной видеозаписи  $B$ :

В первом приближении:

$$\alpha_1 = \arcsin \frac{B}{L}; \quad (20)$$

Во втором приближении и окончательно:

$$\alpha = \arcsin \frac{B}{L + H \operatorname{Ctg} \alpha_1} \quad (21)$$

3. Определяем длину выступа  $\Delta L$ :

$$\Delta L = \frac{h + \Delta h_{\min}}{\operatorname{tg} \alpha} \quad (22)$$

Поскольку на этом выступе должно уместиться целое число телевизионных строк, определим длину, занимаемую на магнитной дорожке одной телевизионной строкой:

$$L_{\text{стр.}} = L / 313. \quad (23)$$

Разделив длину выступа  $\Delta L$  на длину  $L_{\text{стр.}}$ , наверняка получим нецелое число. Его нужно округлить до ближайшего целого, увеличив несколько зазор между дорожками  $\Delta h$ . После этого, повторно воспользовавшись формулой (22), получаем окончательное значение  $\Delta L$ . Естественно, подставлять в эту формулу необходимо уточненное значение  $\Delta h$ .

4. Определим шаг магнитной дорожки вдоль магнитной ленты  $A$ :

$$A = \frac{(h + \Delta h)}{\operatorname{Sin} \alpha} \quad (24)$$

5. Скорость движения магнитной ленты

$$V = A \times 50, \quad (25)$$

так как за секунду на ленте записывается именно 50 магнитных строчек.

#### 4.6. Устройства лазерной звукозаписи

Устройства лазерной звукозаписи были разработаны в 1980 году. Они явились результатом совместной работы японской фирмы Sony и западногерманской фирмы Philips.

##### 4.6.1. Общие положения.

Лазерная звукозапись появилась как альтернатива широко распространенной к тому времени магнитной звукозаписи. Основные преимущества лазерной звукозаписи – очень хорошее качество звука при высокой удельной плотности размещения информации. Потенциальные возможности систем лазерной записи информации оказались столь высоки и привлекательны, что вскоре после появления звуковых лазерных компакт – дисков появились телевизионные диски и периферийные устройства ЭВМ на лазерных дисках.

Несмотря на то, что компакт – диски называются лазерными, по существу, запись (сигналограмма), нанесенная на них, выполнена чисто механическим образом. Действительно, спиралеобразная дорожка записи на диске представлена последовательностью углублений (питов) одинаковой ширины, но

разной длины, в которой и закодирована с помощью специальных методов информация о стереофоническом звуковом сигнале. В процессе воспроизведения используется то обстоятельство, что световой сигнал, отраженный от углубления на поверхности зеркального диска, имеет значительно меньшую яркость по сравнению с сигналом, отраженным от свободной от углублений поверхности диска. Этого вполне достаточно, чтобы в цифровой системе фотоприемник достоверно отличал уровень «нуля» от уровня «единицы».

В процессе практических занятий студенты производят расчет системы радиального слежения проигрывателя лазерных компакт – дисков. Ниже приводятся краткие теоретические сведения, необходимые для выполнения этого расчета.

#### 4.6.2. Следящие системы лазерных проигрывателей

Прежде чем рассмотреть работу следящих систем лазерного проигрывателя, необходимо познакомиться с геометрией лазерного компакт – диска, представленной на рис. 11. Диск имеет диаметр 120 мм при толщине 1,2 мм. В зоне прослушивания, расположенной от радиуса 25 мм до радиуса 58 мм, в процессе записи наносится спиральная дорожка с информацией о звуковом сигнале. Ширина дорожки и размеры углублений (питов) на дорожке очень малы

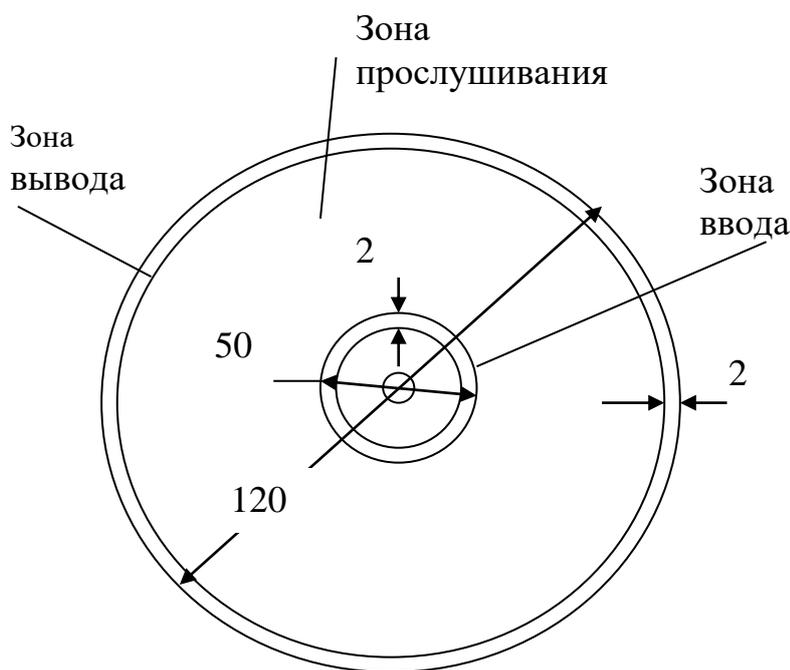


Рис 11. Размеры компакт - диска

и соизмеримы с единицами и долями микрометра. Так, шаг дорожки составляет 1,6 мкм, а длина питов колеблется от 0,81 до 3,1 мкм. Ширина дорожки записи составляет примерно половину её шага. Запись начинается от минимального радиуса, в отличие от обычных грампластинок.

Считывание информации производится лучом лазера, сфокусированным в диаметр, примерно равный ширине дорожки. Понятно, что в процессе воспроизведения луч лазера должен находиться на дорожке с точностью не хуже

нескольких десятых долей микрометра. Для обеспечения линейной скорости движения информационной дорожки 1,25 метра в секунду диск вращается специальным двигателем со скоростями от 500 до 200 оборотов в минуту. Устройство вращения диска – чисто механическое (двигатель, вал, устройство фиксации диска, подшипники).

Конечно, самая точная механика самых точных станков не обеспечивает точности долей микрометра, поэтому в процессе вращения диска обязательно будут иметь место биение диска относительно неподвижного лазерного луча. Эти биения могут составлять в лучшем случае десятки микрометров, что при ширине дорожки около 0,5 мкм совершенно недопустимо. Выход один – луч лазера должен следовать за радиальными колебаниями дорожки, не выпуская дорожку из поля своего зрения. Следовательно, нужна следящая система радиального слежения. Конечно, в лазерном проигрывателе есть и другие следящие системы (автофокусировки, скорости вращения диска), но в данной работе они не рассматриваются. Одна из главных проблем при создании следящей системы радиального слежения – получение оперативной информации о рассогласовании между центрами лазерного луча и информационной дорожки. Поскольку между диском и головкой воспроизведения механического контакта нет, датчик рассогласования должен быть оптическим.

Вариант датчика рассогласования системы радиального слежения схематично показан на рис.12. Темные дорожки на рис.12 – информационные,

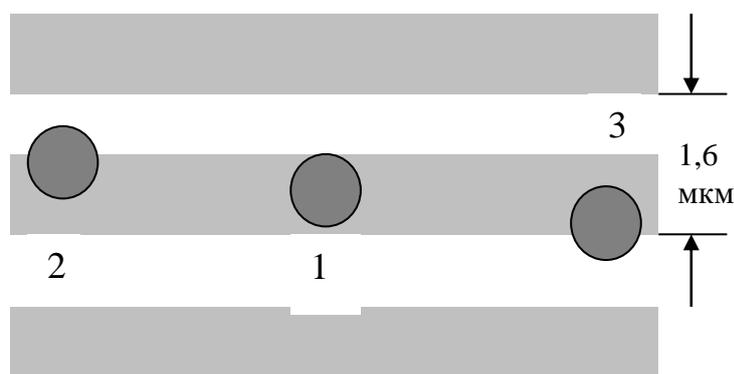


Рис.12. Датчик системы радиального слежения за дорожкой

между ними находится зеркальная поверхность диска. Специальной оптической системой луч лазера расщепляется на 3 луча – центральный луч 1 и два боковых 2 и 3, причем так, что лучи 2 и 3 несколько смещены относительно центрального, который должен располагаться точно по центру дорожки. Каждый из трех отраженных от диска лучей попадает на свой фотоприемник. За

секунду под всеми лучами проходят сотни тысяч битов, поэтому усредненная яркость информационной дорожки значительно меньше, чем промежутка между дорожками. Именно на этом и построен принцип работы датчика. Лучи 2 и 3 частично покрывают информационную дорожку, а частично – пространство между дорожками. Если центральный луч находится точно по центру дорожки, что и требуется, то боковые лучи, отраженные от диска, будут иметь одинаковую яркость, что и уловят фотоприемники, на которые эти лучи отправляет головка воспроизведения. Если же произойдет рассогласование центрального луча, то один из боковых лучей в большей степени выйдет на зеркальную поверхность между дорожками, а другой сместится на информационную дорожку с меньшим коэффициентом отражения, поскольку все три луча жестко связаны между собой. Остается только сравнить уровни сигналов фотоприемников лучей 2 и 3 и сформировать таким образом ошибку регулирования, указывающую величину и направление отклонения лучей от

требуемого положения. Остальная часть системы радиального слежения строится по классической схеме замкнутой системы автоматического регулирования.

#### 4.6.3. Расчет ошибки регулирования системы радиального слежения

На рис.13 приведена функциональная схема системы радиального слежения. Сигналы с фотоприемников ФП2 и ФП3 поступают на устройство сравнения, где формируется сигнал ошибки. Усилившись в усилителе сигнала ошибки УСО, сигнал через корректирующее звено КЗ поступает на электромагнитный двигатель ЭМД, который отклоняет луч лазера. Луч лазера через оптическую систему попадает на диск, после отражения от которого направляется на фотоприемники, и обратная связь в системе замыкается. Поскольку производить расчеты автоматической системы по функциональной схеме невозможно, необходимо для каждого функционального звена найти его математическое описание. Как известно из курса «теория управления и радиоавтоматика», самым удобным математическим описанием функционального звена является его передаточная функция, после чего функциональная схема превращается в структурную. Заменяем функциональные звенья на структурные, выбирая подходящие из известных типовых структурных звеньев систем автоматики. Вся электронная часть схемы – фотоприемники, устройство сравнения, усилитель УСО, луч лазера, имеют быстродействие несравненно большее по сравнению с электромагнитным двигателем. Поэтому всю цепочку этих звеньев можно объединить в одно структурное звено, называемое безынерционным. Его коэффициент усиления обозначим  $K_0$ .

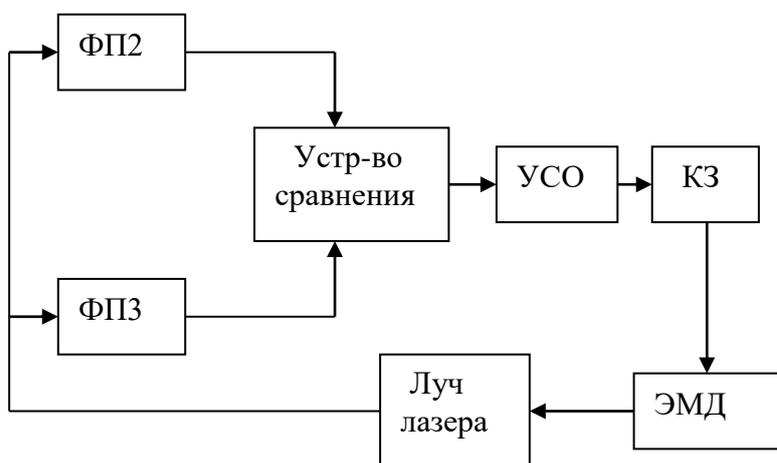


Рис.13. Функциональная схема системы радиального слежения

Наиболее сложным в своем математическом описании звеном является электромагнитный двигатель. Функционально его проще всего представить как некую проволочную рамку в поле постоянного магнита (например, так устроены все миллиамперметры постоянного тока). Если вместо стрелки в миллиамперметре представить себе сверхминиатюрное зеркальце, которое и будет

отклонять луч лазера, то оказывается, что динамические свойства этого устройства очень точно описываются одним из известных структурных звеньев систем автоматического регулирования, а именно – колебательным звеном с передаточной функцией:

$$K_1(p) = \frac{K_1}{1 + 2\xi pT_1 + p^2T_1^2} \quad (26)$$

Как показывает опыт эксплуатации систем радиального слежения, для достижения необходимой точности слежения при колебаниях диска в несколько десятков микрон общий коэффициент усиления  $K_1K_0$  должен быть очень большим (порядка 500 и более). При таком коэффициенте усиления колебательное звено имеет чрезвычайно малый запас устойчивости по фазе, и именно поэтому в систему обязательно необходимо вводить корректирующее звено КЗ. Обычно в качестве такого звена используют упругое дифференцирующее звено, которое вносит положительный фазовый сдвиг и повышает запас устойчивости системы. Передаточная функция такого звена:

$$K_2(p) = \frac{1 + pT_2}{1 + pT_3} \quad (T_2 > T_3) \quad (27)$$

Тогда передаточная функция разомкнутой системы радиального слежения будет иметь вид:

$$K_1(p) = \frac{K_1(1 + pT_2)}{(1 + 2\xi pT_1 + p^2T_1^2)(1 + pT_3)} \quad (28)$$

Структурная схема системы радиального слежения представлена на рис. 14.

На рис. 14  $X(t)$  – задающее воздействие. В данной системе это – требуемое радиальное положение лазерного луча, соответствующее радиальной координате информационной дорожки на диске, с которого необходимо производить

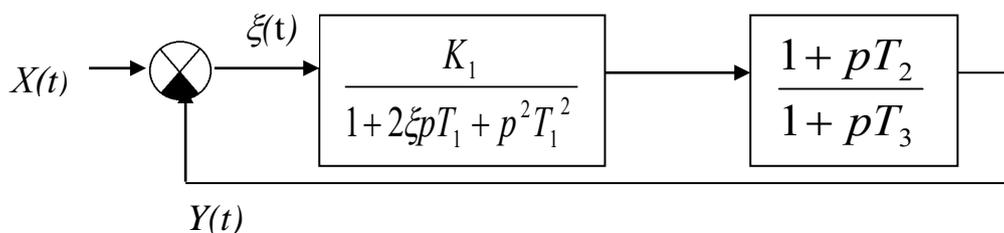


Рис.14. Структурная схема системы радиального слежения

считывание информации в данный момент времени. Поскольку точность механического изготовления проигрывателя не может быть безупречной, любой лазерный диск при вращении будет иметь биения относительно оси вращения проигрывателя. Эти биения хорошо аппроксимируются гармонической функцией:

$$X(t) = X_0 \sin \Omega_1 t, \quad (29)$$

где  $\Omega_1$  – круговая частота вращения лазерного диска.

Тогда  $Y(t)$  – действительное положение лазерного луча. Сумматор вычисляет разницу между действительным и требуемым положениями луча и формирует сигнал ошибки  $\xi(t)$ .

Для нахождения ошибки регулирования воспользуемся методом коэффициентов ошибки [11]. Для этого запишем передаточную функцию ошибки от регулирующего воздействия:

$$K_{\xi}(p) = \frac{1}{1 + K(p)} = \frac{(1 + 2\xi p T_1 + p^2 T_1^2)(1 + p T_3)}{(1 + 2\xi p T_1 + p^2 T_1^2)(1 + p T_3) + K_1(1 + p T_2)} = \frac{C_0 + C_1 p + C_2 p^2 + C_3 p^3}{A_0 + A_1 p + A_2 p^2 + A_3 p^3},$$

где числитель и знаменатель представляют собой характеристические полиномы разомкнутой и замкнутой систем соответственно. Раскрыв скобки, легко получить эти коэффициенты:

$$\left. \begin{aligned} C_0 &= 1; & C_1 &= (T_3 + 2\xi T_1); & C_2 &= (T_1^2 + 2\xi T_1 T_3); & C_3 &= T_3 T_1^2; \\ A_0 &= 1 + K_1; & A_1 &= (T_3 + 2\xi T_1 + K_1 T_2); & A_2 &= C_2; & A_3 &= C_3. \end{aligned} \right\} \quad (30)$$

Для расчета величины ошибки регулирования передаточную функцию ошибки, являющуюся отношением двух характеристических полиномов, удобно представить как некий третий полином, который называют полиномом ошибки:

$$K_{\xi}(p) = \frac{\xi(p)}{X(p)} = S_0 + S_1 p + S_2 p^2 + S_3 p^3 + S_4 p^4 + \dots, \quad (31)$$

откуда:

$$\xi(p) = X(p)(S_0 + S_1 p + S_2 p^2 + S_3 p^3 + S_4 p^4 + \dots). \quad (32)$$

Переходя с помощью обратного преобразования Лапласа от данной операторной формы записи к записи через производные, получим связь между ошибкой регулирования и входной функцией в виде дифференциального уравнения:

$$\xi(t) = S_0 X(t) + S_1 \frac{dX(t)}{dt} + S_2 \frac{d^2 X(t)}{dt^2} + S_3 \frac{d^3 X(t)}{dt^3} + S_4 \frac{d^4 X(t)}{dt^4} + \dots \quad (33),$$

где  $S_0, S_1, S_2, S_3$ , и т.д.- коэффициенты ошибки. Поскольку полином ошибки (31) есть отношение двух характеристических полиномов, естественно ожидать, что и его коэффициенты (коэффициенты ошибки) однозначно связаны с коэффициентами  $A$  и  $C$  характеристических полиномов разомкнутой и замкнутой систем (30):

$$\left. \begin{aligned} S_0 &= \frac{C_0}{A_0}; & S_1 &= \frac{C_1 - S_0 A_1}{A_0}; & S_2 &= \frac{C_2 - A_2 S_0 - A_1 S_1}{A_0}; \\ S_3 &= \frac{C_3 - S_0 A_3 - S_1 A_2 - S_2 A_1}{A_0}; & S_4 &= \frac{C_4 - S_0 A_4 - S_1 A_3 - S_2 A_2 - S_3 A_1}{A_0}, \end{aligned} \right\} \quad (34) \quad \text{и т. д.}$$

Если в формулу для ошибки регулирования подставить входное воздействие (29), взять производные и сделать приведение подобных, то получим окончательно ошибку регулирования:

$$\xi(t) = X_0 (\sin \Omega_1 t (S_0 - S_2 \Omega_1^2 + S_4 \Omega_1^4 \dots) + \Omega_1 \cos \Omega_1 t (S_1 - S_3 \Omega_1^2 + S_5 \Omega_1^4 \dots)) \quad (35)$$

В этой формуле учтены первые 6 членов ряда (33). Поскольку коэффициенты ошибки быстро убывают с ростом номера индекса, такого количества слагаемых в формуле (35) вполне достаточно.

В результате вычисления получится:  $\xi(t) = B\sin\Omega_1 t + DC \cos\Omega_1 t$

Модуль величины ошибки регулирования находится так:

$$|\xi(t)| = \sqrt{B^2 + D^2} \quad (36)$$

## 5.Список литературы

### Основная литература

1. Гитлиц М.В. Магнитная запись сигналов: Учебное пособие для вузов. - М.: Радио и связь, 1990. – 280 с.

### Дополнительная литература

2. Аполлонова Л.П., Шумова Н.Д. Механическая звукозапись. - М.: «Энергия», 1972. - 232 с.
3. Ефимов Е.Г. Магнитные головки: изд. 2-е переработанное - М.: Энергия, 1976. – 112 с.
2. Бургов В.А. Физика магнитной звукозаписи. – М.: искусство , 1979. – 495 с.
3. Щербина В.И. Цифровая звукозапись. – М.: Радио и связь, 1989. – 192 с.
4. Зайцев Г.Ф. и др. Автоматическое регулирования в магнитной записи. – Киев: Техника, 1979. – 167 с.
5. Фридленд И.В., Сошников В.Г. Системы автоматического регулирования в устройствах видеозаписи.- М.: Радио и связь, 1988. – 122 с.
6. Колесников В.М. Лазерная звукозапись и цифровое радиовещание. – М.: Радио и связь, 1991. – 214 с.
7. Лявданский С.Е. Системы записи и воспроизведения информации: Конспект Лекций, ч.1. – Новосибирск: Изд-во НГТУ. – 2000. - 55 с.
10. Лявданский С.Е. Системы записи и воспроизведения информации: Конспект лекций, ч.2. – Новосибирск: Изд-во НГТУ. – 2003. - 48 с.
11. Лявданский С.Е. Радиоавтоматика. Методические указания. – Новосибирск: Изд-во НГТУ. – 1995. - 36 с.