

高等学校电子信息类教材

视听信号 录放技术

● 徐中州 陈田明 编著



西安电子科技大学出版社

<http://www.xduph.com>

高等学校电子信息类规划教材

视听信号录放技术

徐中州 陈田明 编著

西安电子科技大学出版社

2001

内 容 简 介

本教材在原电子工业部工科电子类规划教材《录音录像技术》的基础上修编而成。全书内容分为三篇。第一篇磁带录放技术；第二篇光盘录放技术；第三篇固体录放技术。参考教学时数为54学时。

教材选材突出实用，并力图反映国内外录放技术的发展情况，论述上注意讲清物理概念，尽量避免繁琐的数学推导。

本教材可供应用电子类专业、视听专业的本科生和专科生使用，也可供有关技术人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

视听信号录放技术/徐中州等编著.

—西安: 西安电子科技大学出版社, 2001.12

高等学校电子信息类规划教材

ISBN 7-5606-1070-6

I. 视… II. 徐… III. ①视频信号-信号处理-高等学校-教材

②音频-信号处理-高等学校-教材 IV. TN946

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 066651 号

策 划 徐德源

责任编辑 戚文艳

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)8227828

邮 编 710071

http://www.xduph.com

E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印 刷 西安文化彩印厂

版 次 2001年12月第1版 2001年12月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 15.25 插页 1

字 数 362千字

印 数 1~4 000册

定 价 18.00元

ISBN 7-5606-1070-6/TN·0189(课)

XDUP 134100 1-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本书封面贴有西安电子科技大学出版社的激光防伪标志, 无标志者不得销售。

前 言

本教材为原电子工业部工科电子类专业规划教材《录音录像技术》的基础上修编而成的，由深圳大学徐中州等编写。

本教材自 1992 年初版之后，受到各有关院校的肯定与广泛使用，至今已连续重印 4 次。考虑到录音录像技术的迅速发展及相关设备的迅速更新换代，原版本已不能满足使用要求，在出版社与我们的共同努力下，对原书内容进行了较大的修订与增删，新版(修订)本以光盘录放技术为主体内容，同时，将书名更名为《视听信号录放技术》。

本课程的参考学时为 54 学时，其主要内容由磁带录放技术、光盘录放技术与固体录放技术三篇组成，其中第一篇由徐中州编写，第二篇由陈田明编写，第三篇由陈田明、潘建宅共同编写，全书由徐中州统稿。

教材在内容选材上求新求实，并力图具有一定的超前性，对一些曾经使用而目前已经淘汰或很少使用的技术，本书不再涉及；在论述上注意理论与实际的结合，力图避免冗长而繁琐的推导。

由于编者水平所限，加之相关技术发展迅速，书中难免存在一些缺点与错漏，殷切希望广大读者批评指正。

编 者

2001 年 5 月于深圳大学

目 录

第一篇 磁带录放技术

第一章 磁记录技术基础	1	2.3 录音机的整机电路与结构	31
1.1 磁化曲线与磁滞回线	1	2.3.1 录音机的整机电路	31
1.1.1 磁化曲线	1	2.3.2 录音机结构	35
1.1.2 磁滞回线	1	习题	41
1.2 偏磁记录	2	第三章 视频信号的录放与录像机	42
1.2.1 无偏磁记录造成的失真	2	3.1 视频信号的记录与录像电路	42
1.2.2 偏磁记录方式	2	3.1.1 视频信号的记录	42
1.3 消音与消磁	4	3.1.2 视频信号的记录电路	51
1.3.1 消音	4	3.1.3 视频信号记录系统电路实例	59
1.3.2 交流消磁	4	3.2 视频信号的重放与重放电路	61
1.4 记录波长与磁信号的重放	5	3.2.1 亮度信号重放电路	62
1.4.1 记录波长的概念	5	3.2.2 色度信号重放电路	69
1.4.2 记录波长的意义	6	3.2.3 录像机重放电路实例	72
1.4.3 磁信号的重放	6	3.3 录像机的伺服控制	75
1.4.4 磁录放过程中的损耗	8	3.3.1 伺服控制系统概述	75
习题	11	3.3.2 伺服系统的组成	78
第二章 音频信号的录放与录音机	12	3.3.3 伺服原理	80
2.1 音频信号的记录与录音电路	12	3.4 录像机的机械系统与机芯	82
2.1.1 音频信号的记录	12	3.4.1 机械系统的作用	82
2.1.2 录音电路	16	3.4.2 机芯组成与工作过程	83
2.2 音频信号的重放与放音电路	20	3.4.3 加载机构与加载过程	85
2.2.1 音频信号的重放	20	3.5 Hi-8 摄录一体机简介	86
2.2.2 放音电路	27	习题	88

第二篇 光盘录放技术

第四章 光盘录放技术基础	90	4.2.1 音频信号的编码	97
4.1 信号的数字化处理	90	4.2.2 视频信号的编码	98
4.1.1 模/数转换	90	4.3 视频/音频压缩编码标准	100
4.1.2 数/模转换	94	4.3.1 MPEG-1 标准	100
4.2 信号的编码	97	4.3.2 MPEG-2 标准	109

4.3.3 MPEG-4 标准	117	6.1.1 CD 的信号格式	153
4.4 视频信号的压缩技术	118	6.1.2 CD-DA 系统的主要参数及 CD 机的 国家标准(电性能)	163
4.4.1 预测编码	118	6.1.3 CD 机的组成及电路	164
4.4.2 变换编码	121	6.2 VCD 光盘机	170
4.4.3 熵编码	123	6.2.1 VCD 的信号格式	170
4.4.4 子带编码	124	6.2.2 VCD 的技术性能	178
习题	125	6.2.3 VCD 机的构成及电路	178
第五章 信号的刻录与读出	127	6.2.4 SVCD 机	192
5.1 光盘	127	6.3 DVD 光盘机	193
5.1.1 光盘的发展过程	127	6.3.1 概述	193
5.1.2 光盘的分类	128	6.3.2 DVD 的信号格式	196
5.1.3 光盘的组成材料	129	6.3.3 DVD 光盘机的构成及电路	198
5.1.4 光盘的结构和特性参数	131	6.4 误码检测与纠错	201
5.2 激光器与光路系统	135	6.4.1 误码产生的原因	201
5.2.1 激光器	135	6.4.2 CIRC 编码	202
5.2.2 光路系统	137	6.4.3 纠错分析	206
5.3 信号的刻录	146	6.5 光盘机的伺服系统	207
5.3.1 只读型光盘的信号刻录	146	6.5.1 伺服系统概述	207
5.3.2 追记型光盘的信号刻录	148	6.5.2 聚焦伺服	208
5.3.3 可重写型光盘的信号刻录	149	6.5.3 跟踪伺服	210
5.4 信号的读出	150	6.5.4 进给伺服	212
5.4.1 读出光盘信息的原理	150	6.5.5 主轴伺服	213
5.4.2 读出光盘信息的光路	152	6.5.6 光盘机机芯	214
习题	152	习题	220
第六章 光盘机及信号格式	153		
6.1 CD 光盘机	153		

第三篇 固体录放技术

第七章 信号的固体录放	221	习题	232
7.1 固体录放的本质	221	第八章 音频信号的固体录放 设备——MP3	233
7.2 固体录放的特点	222	8.1 MP3 的编码和解码	233
7.2.1 固体录放基本原理	222	8.1.1 MP3 的编码	233
7.2.2 半导体存储器的特点	223	8.1.2 MP3 的解码	234
7.2.3 音频编码压缩及解码的特点	226	8.2 MP3 播放机的基本原理	235
7.3 固体录放的现状与发展	230	习题	237
7.3.1 固体录放存储器件的现状与发展	230	参考文献	238
7.3.2 音频压缩技术的现状与发展	231		

第一篇 磁带录放技术

第一章 磁记录技术基础

1.1 磁化曲线与磁滞回线

1.1.1 磁化曲线

磁场强度 H 与磁感应强度 B 之间的关系曲线称为磁化曲线, 如图 1-1 所示。这一曲线呈现非线性, 并分为起始段、线性段与饱和段。对于电磁现象而言, 由于励磁电流 I 与磁场强度 H 呈线性关系, 因而可以认为 B 与 H 的关系和 B 与 I 的关系基本相同。

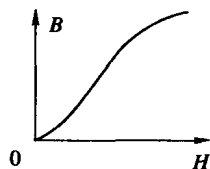


图 1-1 B 与 H 的关系曲线

1.1.2 磁滞回线

铁磁物质磁化之后, 磁化的磁场强度 H' 逐渐减小到 0, 对应的 B' 并不随之减小到 0, 而是回到大于 0 而小于 B' 的某点 B_r 上, 磁感应强度变为剩磁感应强度。从初始磁化曲线上的 B' 点到 B 轴上的 B_r 点, 构成了第一象限部分的所谓磁滞回线。随着 H 的变化, 可以形成完整的磁滞回线, 如图 1-2 所示。

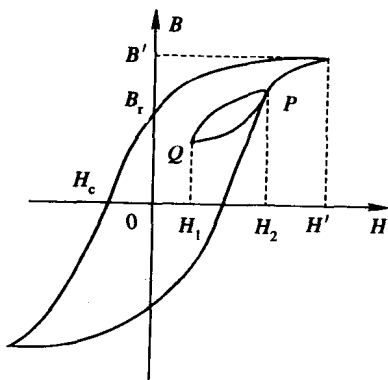


图 1-2 磁滞回线

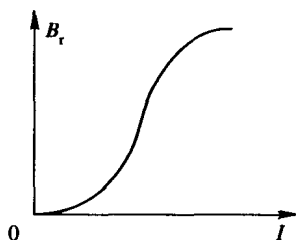


图 1-3 B_r 与 I 的关系曲线

由于磁记录的信号载体是剩磁,因此,剩磁感应强度 B_r 与励磁电流 I 之间的关系就显得更为重要。 B_r 与 I 的关系曲线如图 1-3 所示,显然,二者之间呈现更严重的非线性关系。

1.2 偏磁记录

1.2.1 无偏磁记录造成的失真

当直接以信号电流经磁头对磁带励磁时,由于 $H-B_r$ 曲线初始段存在着严重的非线性关系,会使剩磁形式的响应信号波形相对于激励信号波形产生严重的失真。以图 1-4 所示的正弦激励信号为例,它的剩磁响应信号将产生钟形失真,其波形类似乙类放大器产生的交越失真波形。对于音频信号而言,这种失真是不能容忍的。

为避免这种失真,需将剩磁对励磁的响应置于曲线的线性段,这就要求把励磁电流的零位线从 B 轴位置向正方向平移,其最佳位置是曲线线性段的中点,这样可使剩磁响应保持最大的不失真范围。

将励磁电流的零位线偏离 B 轴的方法称为偏磁。偏磁分为直流偏磁与交流偏磁两种,具体介绍如下。

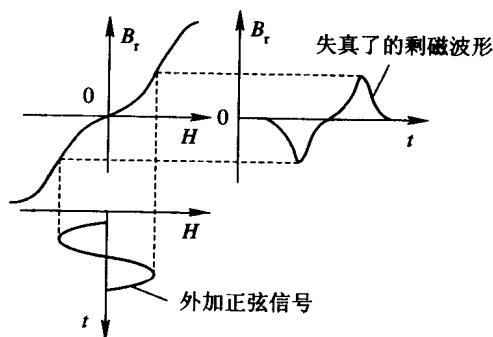


图 1-4 无偏磁记录及其失真

1.2.2 偏磁记录方式

1. 直流偏磁及直流偏磁记录的特点

所谓直流偏磁,是在给录音磁头送入待记录信号的同时,给磁头线圈再送入一个直流电流,使磁头的工作磁场由记录信号的交变磁场和一个恒定磁场叠加而成。恒定磁场的强度 H_0 ,应对应于剩磁特性曲线线性段的中点 A ,交变磁场在此恒定磁场的基础上变化。这样,对于一定幅度的交变信号而言,记录系统便可以工作在线性区。这一点非常类似于甲类放大器的工作点设置。直流偏磁记录的工作原理如图 1-5 所示。显然,由于信号工作于剩磁感应曲线的线性区,剩磁感应强度形式的响应信号避免了非线性失真。将恒定磁场强度设置在曲线线性段的中点处,可以使该记录方式的线性工作区尽可能大且灵敏度较高。

直流偏磁记录方式简单、经济,在普及型录音机中被广泛采用,但是它还存在着明显的缺点,即录音磁头线圈中的直流电流使磁带被磁化后产生较大的背景噪音。因此,在高档录音设备中多采用交流偏磁记录方式。

2. 交流偏磁及交流偏磁方式的特点

以等幅超音频电流代替直流偏磁方式的直流偏磁电流,就构成了所谓的交流偏磁记录方式。一般来说,超音频偏磁电流的频率为 $40 \sim 200$ kHz,幅度为音频记录信号的 $5 \sim 20$

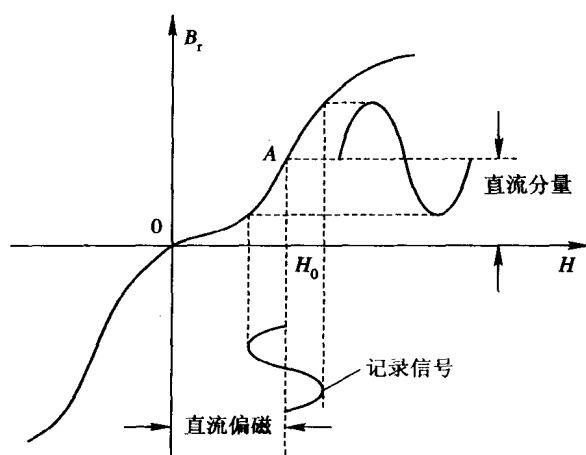


图 1-5 直流偏磁记录示意图

倍。信号磁场与偏磁磁场叠加的结果，使磁头工作缝隙中的磁场成为一个幅值（即上下包络）随记录信号变化的超音频磁场，如图 1-6 所示。

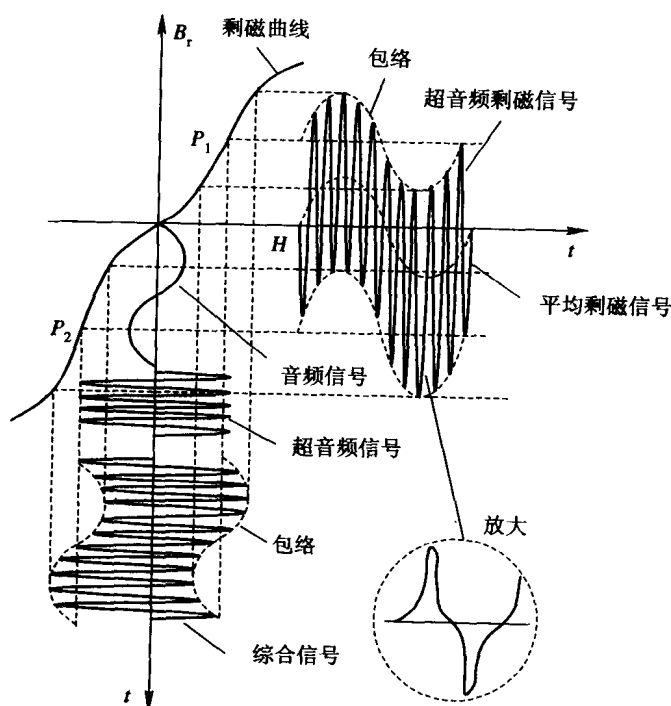


图 1-6 交流偏磁记录示意图

与直流偏磁方式不同，由于交流偏磁电流的上下振幅位于图 1-6 的 3、4 两个象限，因此它的响应分布在如图示的 1、4 两个象限。由于不同方向剩磁感应强度的去磁作用，在磁带上记录下来的剩磁感应信号是图示的平均剩磁信号，显然，这是一个与音频信号同频

的过零轴的正弦信号。

需要注意两个问题：

第一，在无音频信号时，超音频等幅振荡电流在磁头工作缝隙中产生的超音频磁场对磁带的磁化作用类似于消磁的过程(参看 1.3 节内容)，在磁带上留下的剩磁为零。

第二，超音频正弦振荡电流由于其幅值较小部分作用于剩磁曲线的起始段，这部分的响应信号会产生非线性失真，因此，超音频振荡电流的总体响应信号也会产生如图 1-6 中虚线圆所示的失真。不过，超音频振荡电流对于信号的激励与响应都只起到“载波”的作用，而由其振荡峰点构成的包络并无失真。也就是说，超音频振荡电流对记录剩磁并无影响。

交流偏磁记录方式既克服了剩磁曲线起始段的非线性失真，又不存在直流磁场，因而使背景噪音大大降低。另外，由于该方式利用了剩磁曲线 1、3 象限的两段线性区，使响应信号增强，灵敏度提高。不过，相对于直流偏磁记录方式而言，交流偏磁方式需要设置专门的超音频振荡器，电路也相对复杂一些。但是由于其性能优良，在目前的磁带录音技术中仍被普遍采用。

1.3 消音与消磁

尽管在许多场合消音与消磁这两个概念经常被混同，但是，严格地讲，两者是有区别的：消磁可以消音；消音却不能消磁，而只能把音频信号“淹没”在接近于饱和的强磁场中。

1.3.1 消音

消音多为利用直流励磁电流通过磁头对磁带作磁饱和处理。早期有一些录音机的消音磁头使用恒磁材料，但是由于这种磁头对周围有太强的磁干扰而逐步被淘汰。直流消音由于消音磁头的励磁电流足够大，可以在磁头缝隙中产生足以使磁带各点都处于饱和状态的直流磁场，使原来变化的剩磁信号被饱和磁场所覆盖，从而达到消音的效果。

直流饱和消音虽然具有电路简单的优点，但是由于磁带在消音后保留有很强的剩磁，从而使这种磁带在录后重放时存在着较大的背景噪音。

1.3.2 交流消磁

1. 交流消磁过程

交流消磁是指把一定强度的超音频等幅正弦电流通入消磁磁头，在磁头缝隙中产生超音频交变磁场，磁场在磁头缝隙中呈中间强两边弱的对称分布，磁带在通过磁头缝隙的过程中会遇到一个先弱后强，再由强而弱的交变磁场，如图 1-7 所示。

由图 1-7 可知，磁带开始进入磁头缝隙附近的消磁磁场时，刚刚进入磁头缝隙的磁带微段即从其原来的剩磁 B_r 开始，受到一个幅度逐渐增强的交变磁场的磁化，磁化过程沿着逐渐增大的磁滞回线直到饱和。当磁带微段离开缝隙中心时，对磁带的磁化是幅度逐渐减小的交变磁场，当磁带微段离开缝隙直到磁场为零时，磁带微段的剩磁也变为零，从而达到了消磁并自然同时消音的目的。

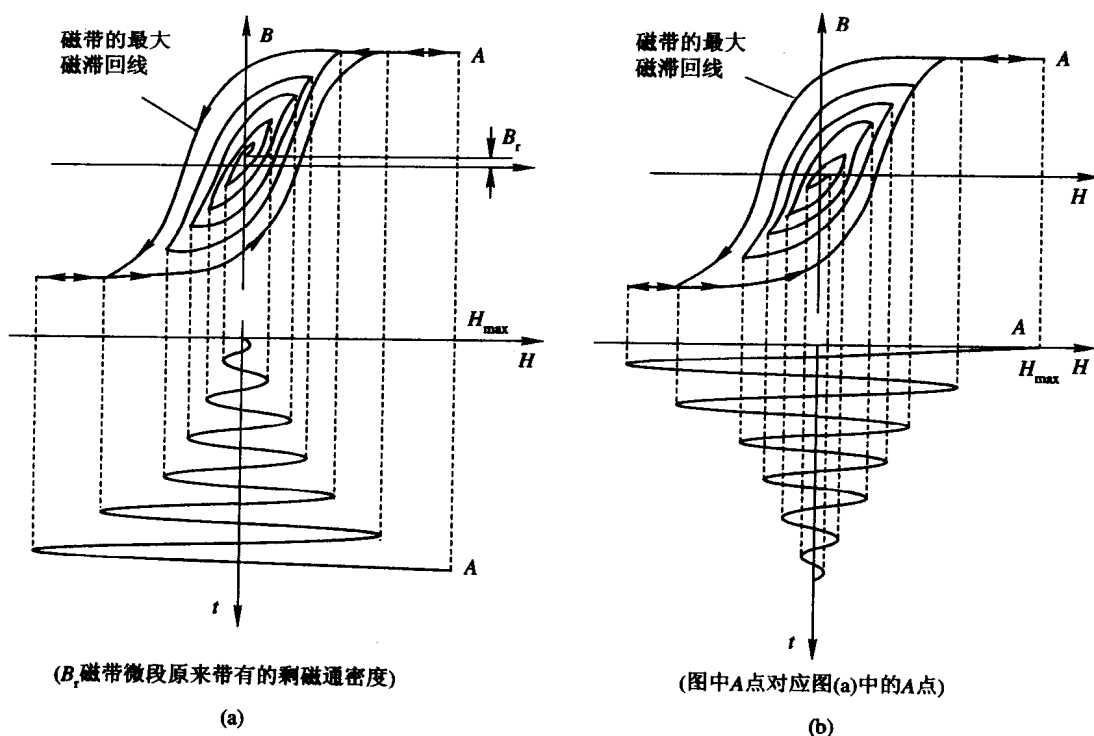


图 1-7 交流消磁磁化过程

2. 交流消磁的基本要求

第一，磁带微段在缝隙中心时必须被磁化到饱和状态，以保证磁带可以达到饱和，这就需要强度达数十毫安的交流消磁电流。第二，消磁电流波形必须上下对称，否则会由于两个方向的磁化强度不等而留下剩磁。第三，消磁电流不能衰减得太快，否则也会留下剩磁，这就要求在磁带微段通过磁头缝隙的过程中应有 10 个以上周期的磁场交变，相应的消磁磁头的缝隙也应比记录磁头宽一些(但也不能太宽，否则磁阻太大，要产生同样强度的磁场，消磁电流就要增大，使功耗增加)，这就又对消磁电流的频率提出了要求。一般而言，消磁电流与偏磁电流的产生使用同一个振荡器，振荡器的振荡频率在 50~200 kHz。使用交流偏磁直流消音配置方式则允许频率较低，如 50 kHz 左右，且功率可以较小。

视频信号的消磁与音频信号的消磁相同，在普通录像机中可采用固定的消音磁头和全消(指录像带上的全部信号均被消除)磁头，在比较高级的录像机中可采用旋转式的消像磁头。

1.4 记录波长与磁信号的重放

1.4.1 记录波长的概念

当磁带与磁头缝隙密切接触时，由于磁带上磁层的磁阻很小，磁头缝隙中密集的磁力线会集中穿过磁层，使磁头铁芯与磁带磁层构成闭合磁路。磁头线圈中由记录信号电流所

产生的磁场就对磁带上相对应的磁带微段进行了磁化,当磁带以一定的速度逐渐离开磁头缝隙后,磁带微段上就留下了与记录信号磁场成正比的剩磁。在磁带逐渐通过磁头缝隙后,便留下了一条方向与强度有相应变化的带状剩磁磁迹。

如果记录信号为正弦波,在不失真记录的情况下,磁带上磁迹剩磁也按正弦规律分布。由于正弦电流的正负半周在磁带上的磁化方向相反,留下的剩磁方向也相反。磁带上记录一个完整周期正弦波的磁迹,由两个方向相反的小“磁棒”连接在一起构成,而磁带上各点(磁带微段)剩磁的强弱,则与各点记录信号电流的幅度相对应。

通常把在磁带上记录一个周期正弦信号所需的磁带长度称为记录波长,用符号 λ 表示。设磁头磁带间的相对运动速度为 v ,所记录的信号周期为 T ,则记录波长 λ 可表示为

$$\lambda = vT = \frac{v}{f} \quad (1.1)$$

1.4.2 记录波长的意义

记录波长在磁记录技术中是一个非常重要的参数,特别是对磁性录放系统的频率响应影响很大。由式(1.1)可知,记录波长代表了在磁带上记录一个完整周期的正弦波的磁带长度,它与磁头磁带的相对速度成正比,与记录信号的频率成反比。

为保证不失真记录,磁带在通过磁头缝隙 g 期间,信号应近似不变。这就要求长度相当于 g 的一段磁带通过磁头缝隙的时间 t 应小于记录信号的周期 T ,由于

$$t = \frac{g}{v} \quad (1.2)$$

显然,要满足不失真记录,必须满足

$$t \ll T \quad (1.3)$$

将式(1.1)和式(1.2)代入式(1.3),便有

$$\lambda \gg g \quad (1.4)$$

由式(1.4)可知,当磁头缝隙宽度一定时,磁记录系统的不失真记录频率不能高于某一数值,一般取磁记录系统的最低记录波长 $\lambda_{\min}$ 为 $1.5 \sim 2g$,相应的最高记录频率 f_m 为 $v/2g$ 。

[例] 某录像机记录信号的最高频率 f_m 为 6 MHz,记录磁头的缝隙 g 为 $0.3 \mu\text{m}$,试求其磁头磁带相对速度 v 。

[解] 取记录波长 $\lambda = 1.5g = 0.45 \mu\text{m}$

由 $\lambda = v/f$, 得

$$v = \lambda f = 0.45 \times 6 \times 10^6 = 2.7 \text{ (m/s)}$$

此例说明,记录波长这样一个物理量对视频记录设备提出了很高的要求,像磁带录音机那样采用固定磁头的方式显然已无法实现视频磁记录。同时也说明记录波长对磁记录系统的重要意义。

1.4.3 磁信号的重放

在不失真记录条件下,磁带上信号的剩磁 B_r 和信号电流 i 之间呈线性关系。设 K 为线性常数,则

$$B_r = Ki = KI_m \sin \frac{2\pi}{\lambda} x \quad (1.5)$$

代入式(1.1), 并设 x 为磁带在时间 t 内由磁头缝隙中心移开的距离, 即 $x=vt$, 则式(1.5)成为

$$B_r = KI_m \sin \frac{2\pi}{\lambda} x \quad (1.6)$$

磁头缝隙中的平均剩磁 $\bar{B}_r$ 可表示为

$$\bar{B}_r = \int_{x-g/2}^{x+g/2} \left(\frac{B_r}{g} \right) dx = K \cdot I_m \frac{\sin \pi g / \lambda}{\pi g / \lambda} \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda} x \quad (1.7)$$

与式(1.6)相比, 式(1.7)多了一个与时间无关的因子 $(\sin \pi g / \lambda) / (\pi g / \lambda)$ 。在 $\pi g / \lambda$ 较小的情况下, $\pi g / \lambda \approx \sin \pi g / \lambda$, 即

$$\bar{B}_r \approx B_r = KI_m \sin \frac{2\pi}{\lambda} x = KI_m \sin \omega t \quad (1.8)$$

忽略漏磁, 磁带剩磁 B_r 即为磁头的磁感应强度, 磁头铁芯磁通 Φ 与磁头缝隙平均磁感应强度 $\bar{B}_r$ 成正比, 即

$$\Phi = k_s \bar{B}_r \quad (1.9)$$

由电磁感应定律知, 重放磁头线圈两端的输出电压为

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} = -NK_s \frac{d\bar{B}_r}{dt} \quad (1.10)$$

式中, N 为重放磁头线圈匝数, K_s 为 Φ 与 $\bar{B}_r$ 间的比例系数。

将式(1.8)代入式(1.10), 可得重放磁头输出电压

$$\begin{aligned} e &= -NKK_s I_m \omega \cos \omega t = 2\pi NKK_s I_m f \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \\ &= E_{mo} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \end{aligned} \quad (1.11)$$

式中, $E_{mo} = 2\pi NK_s K I_m f$, E_{mo} 为重放输出电压的幅值。

以电平(dB)形式表达之, 式(1.11)为

$$E_{mo}(\text{dB}) = 20 \lg(2\pi NK_s K I_m) + 20 \lg f = K_0 + 20 \lg f$$

其中, $K_0 = 20 \lg(2\pi NK_s K I_m)$ 。

由于恒流记录(详见下述)的条件下 K_0 为一个常数, 若信号频率增加一倍, 如 $f_2 = 2f_1$, 即 1 个倍频程(octave, 简称 oct), 则信号电平差 ΔE_{mo} 为

$$\begin{aligned} \Delta E_{mo} &= E_{mo2} - E_{mo1} \\ &= (K_0 + 20 \lg f_2) - (K_0 + 20 \lg f_1) \\ &= 20 \lg(f_2/f_1) = 20 \lg 2 = 6 \text{ (dB)/oct} \end{aligned}$$

理想重放特性曲线如图 1-8 所示为一条输出电平随频率以每倍频程增加 6 dB 的斜率上升的直线。

以音频信号为例, 其频域约为 20 Hz ~ 20 kHz, 倍频程数 N_s 为

$$N_s = \lg(2 \times 10^4 / 20) \approx 10 \text{ (oct)}$$

相应的理想输出电平的最大差别为 60 dB, 目前的电

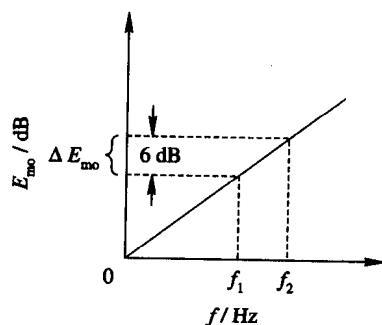


图 1-8 理想重放输出曲线

路技术尚可对其作均衡处理,使其基本达到平坦的频响。然而对于视频信号而言,虽将其频率下限取为帧频即 25 Hz,频率上限为 6 MHz,其倍频程数 N_v 为

$$N_v = \lg(6 \times 10^6 / 25) = \lg 2.4 \times 10^5 = 18 \text{ (oct)}$$

相应的理想输出电平的最大差别高达 108 dB。如此之高的电平差,使视频信号的记录必须采取不同于录音技术的处理方法。

1.4.4 磁录放过程中的损耗

1. 记录去磁损耗

当记录信号的频率较低时,磁头缝隙中的磁场对某一小段磁带的磁化基本不随时间变化,而只是空间位置的函数:

$$H_1 = \frac{H_0}{\pi} \left[\arctan \left(\frac{1 + 2x/g}{2y/g} \right) + \arctan \left(\frac{1 - 2x/g}{2y/g} \right) \right] \quad (1.12)$$

式中, H_0 为磁头缝隙中心处的磁场强度, x 、 y 为水平方向与垂直方向上偏离磁头缝隙中心的距离。

但是,当记录信号的频率较高时,磁头缝隙中的磁场 H_h 便不仅仅是空间位置的函数,同时也是时间的函数:

$$H_h = H_1 \cos(\omega t + \theta) = H_1 \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda} x + \theta \right) \quad (1.13)$$

式中,磁带运动方向上偏离磁头缝隙中心的距离 $x=0$ 时,初相 $\theta=0$ 。式(1.13)所表示的磁场如图 1-9 所示。

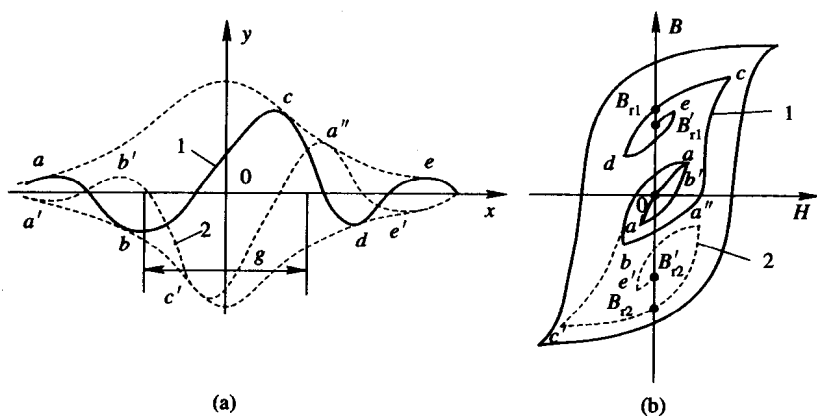


图 1-9 记录去磁损耗示意图

图中可以看到,一小段磁带在磁化过程中,由于记录信号频率过高,同一小段内磁场会发生数次方向和强度上的变化,而磁场方向的变化必然会使磁带上已记录的剩磁信号被削弱,造成记录去磁损耗。

记录信号频率越高,自去磁损耗也越大。高频记录(如视频信号记录)时,为减小记录去磁损耗,要求记录磁头的缝隙宽度应尽可能小,这就使得视频磁头的加工难度大大超过了音频磁头。

2. 自去磁损耗

自去磁损耗是指磁带本身的磁化对磁带磁信号的削弱作用。

记录了信号的磁带离开磁头缝隙后, 磁带上的剩磁会在深层磁层中感应出一个与记录剩磁方向相反的磁场, 使重放时磁头缝隙所检拾的合成磁场小于原记录的剩磁磁场, 形成自去磁损耗。随着记录信号频率升高, 记录信号的磁畴有向磁层外表层集中的趋向, 使记录层变薄, 非记录层相应变厚, 造成记录剩磁信号易于建立反向磁场。另外, 同极相邻的小磁畴变强, 使相互抵消的作用增强, 这些都使自去磁损耗增大。

自去磁损耗可用下式表示:

$$L_c(\text{dB}) = 20 \lg \left(1 + aN \frac{B_r}{H_c} \right) \quad (1.14)$$

式中, a 为常系数, 一般 $0.5 < a < 1$, N 为退磁系数, 与磁层厚度及记录波长有关。 H_c 为矫顽磁场强度。

3. 磁带厚度损耗

磁带厚度损耗也是一种高频损耗。当记录信号的频率较高时, 磁层中未被磁化的厚度增大, 重放时, 磁带上剩磁磁场的部分磁力线通过磁层内的未磁化区形成闭合磁路, 而不再链过重放磁头线圈, 使输出信号减弱而产生磁层厚度损耗。

磁层厚度损耗 L_δ 由下式表示:

$$L_\delta(\text{dB}) = 20 \lg \left(\frac{2\pi\delta/\lambda}{1 - e^{-2\pi\delta/\lambda}} \right) \quad (1.15)$$

式中, δ 为磁层厚度(m), λ 为记录波长(m/s)。

磁层厚度损耗特性如图 1-10 所示。

4. 间隔损耗

磁头与磁带之间不可避免的间隔具有很高的磁阻, 该磁阻使磁头磁带间的耦合作用减弱, 并产生所谓的间隔损耗。当磁头与磁带之间的间隔为 d 时, 产生的间隔损耗 L_d 可用下式表示:

$$L_d(\text{dB}) = 20 \lg e^{-2\pi d/\lambda} \approx 54.6 \frac{d}{\lambda} \quad (1.16)$$

随着信号频率的升高与记录波长的减小, 间隔损耗也相应增大。显然, 这也是一种高频损耗。间隔损耗在重放工作状态下同样存在。

5. 重放磁头工作缝隙损耗

由式(1.7)可知, 重放磁头缝隙中的平均剩磁 $\bar{B}_r$ 与磁带剩磁 B_r 之间存在 $\bar{B}_r = B_r \frac{\sin(\pi g/\lambda)}{\pi g/\lambda}$ 的关系。在高频下, 不能忽略因子 $\frac{\sin(\pi g/\lambda)}{\pi g/\lambda}$, 即不存在式(1.8)的关系。这样, 耦合到磁头线圈后产生的感应电压可表示为

$$e = E_{m0} \frac{\sin(\pi g/\lambda)}{\pi g/\lambda} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = E_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$E_m = E_{m0} \frac{\sin(\pi g/\lambda)}{\pi g/\lambda} \quad (1.17)$$

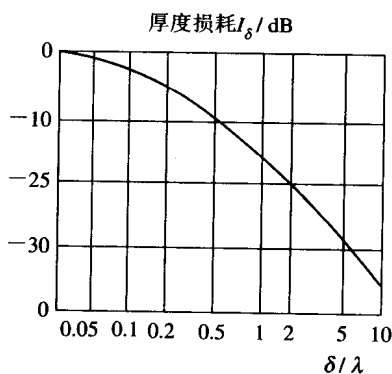


图 1-10 磁层厚度损耗特性曲线

E_{m0} 为理想重放输出电压幅值。由此可得磁头缝隙损耗:

$$L_g = 20 \lg \frac{E_{m0}}{E_m} = 20 \lg \frac{\pi g / \lambda}{\sin(\pi g / \lambda)} \quad (1.18)$$

式(1.18)所示的缝隙损耗特性如图 1-11 所示。

图 1-11 显示出随着 λ 的减小, L_g 逐渐增大, 在 g/λ 接近于 1, 2, ... 正整数时, L_g 急剧增大。考虑了缝隙损耗后的重放输出特性如图 1-12 所示。

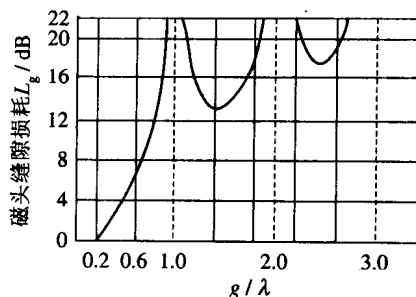


图 1-11 缝隙损耗示意图

由图 1-12 可知, 重放输出电平随着 λ 的减小按 $\sin(\pi g / \lambda)$ 的规律变化, 在 g/λ 为整数时, 输出为 0, 并在 $g/\lambda = \frac{1}{2}(2n+1)$ 时达到最大值。一般把 $\lambda = g$ 时相应的信号频率称为临界频率 f_c 。为避免重放输出出现过大的跌落, 通常选择 $g \leq \frac{1}{2} \lambda_{\min}$, 即磁性录放系统所能录放的信号最高频率不得大于临界频率的一半。

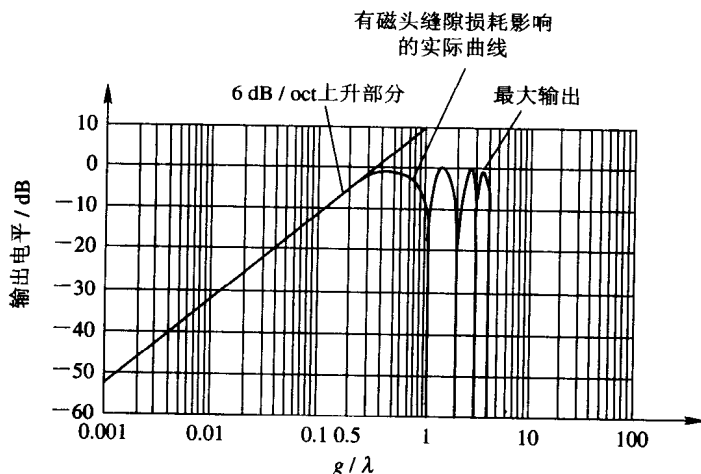


图 1-12 考虑磁头缝隙损耗后的实际重放输出特性

6. 方位角损耗

在理想录放的情况下, 重放磁头与记录磁头的方向应完全相同, 才能得到最佳的录放效果。但是实际上重放磁头与记录磁头工作缝隙的方向总存在着偏差, 沿缝隙各点所对应的磁迹相位并不完全一致, 以致各点上的剩磁磁通并不是同相叠加的, 结果造成输出下降, 产生所谓方位角损耗。

如图 1-13 所示, 设磁迹宽度为 W , 磁头缝隙沿磁迹方向上的投影为 a , 若重放磁头缝隙方向与记录磁迹的磁化方向存在着方位偏差 θ , 便有 $a = Z \tan \theta$, 其中, Z 为磁头缝隙偏离磁迹中心的距离。相应地, 在工作缝隙中任一点的剩磁可表示为

$$B_r = K I_m \sin \frac{2\pi}{\lambda} (x + Z \tan \theta)$$

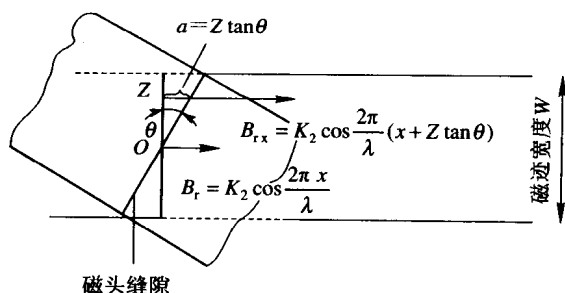


图 1-13 方位角损耗示意图

重放磁头工作缝隙中的剩磁平均值为

$$\begin{aligned}\bar{B}_r &= \frac{1}{a} \cdot \frac{1}{g} \int_{x-g/2}^{x+g/2} \int_{-w/2}^{w/2} B_r dx dz \\ &= K I_m \frac{\sin(\pi g/\lambda)}{\pi g/\lambda} \cdot \sin 2\pi \frac{x}{\lambda} \cdot \frac{\sin \pi w \tan \theta / \lambda}{\pi w \tan \theta / \lambda}\end{aligned}\quad (1.19)$$

相应的输出电压幅值为

$$E_m = E_{mo} \frac{\sin(\pi g/\lambda)}{\pi g/\lambda} \cdot \frac{\sin(\pi w \tan \theta / \lambda)}{\pi w \tan \theta / \lambda} \quad (1.20)$$

当 θ 为 0 时, 输出最大值与式(1.18)结果相同。方位角损耗可表示为

$$L_\theta = 20 \lg \left| \frac{E_m|_{\theta=0}}{E_m|_\theta} \right| = 20 \lg \left| \frac{(\pi w \tan \theta) / \lambda}{\sin(\pi w \tan \theta) / \lambda} \right| \quad (1.21)$$

当 θ 很小时, $\tan \theta \approx \theta$, 有

$$L_\theta(\text{dB}) = 20 \lg \left| \frac{\pi w \theta / \lambda}{\sin(\pi w \theta / \lambda)} \right| \quad (1.22)$$

方位角损耗会引起输出电压的跌落, 尤其会引起重放信号中高频成分的损失。但是在录像机及 Hi-Fi 录音设备中, 为提高记录密度, 取消了相邻磁迹间的保护带(即间隔)。这时通常都使相邻磁迹具有不同的磁化方位角, 利用方位角损耗来抑制相邻磁迹间的串扰。

习 题

1. 偏磁的意义是什么? 偏磁有哪几种形式? 各有什么优缺点?
2. 消音的方法有哪几种? 各有什么特点?
3. 为什么偏磁与交流消音电流频率不能低于音频最高频率的 2 倍?
4. 设交流消磁电流频率为 $f = 100 \text{ kHz}$, 磁带的走带速度 $v = 4.75 \text{ cm/s}$, 试计算消音磁头工作缝隙的宽度 g 。
5. 试解释交流消音的效果为什么正比于 f/v 。
6. 磁头方位角所引起的损耗有什么特点? 若方位角差为 $\pm 12^\circ$, 试计算在 0.627 MHz 、 1 MHz 、 4.8 MHz 时的方位角损耗。
7. 定性解释当 g/λ 为整数时, 重放磁头输出为 0 的原理。
8. 如何利用磁带厚度损耗来实现高密度记录(同一段磁带记录多个信号)?