

# 激光唱机的原理和使用简介

## 1 引言

激光即英语Light Amplification by Stimulated of Radiation,意为受激辐射光放大。LASER乃上述英语词头之缩写形式,莱塞、镭射为缩写之音译。

激光具有单色性,其指向性很高,聚焦特性优良,在激光唱机中作为光源,其光束的收敛部分可聚焦至 $1\mu\text{m}$ 左右,激光亦具有很好的相干性,亦较易得到很强的光功率(虽然在激光唱机中所需光源的光功率并非很大)。

激光在通讯、度量衡、计算机、化学、摄影、军事、医学、舞台灯光、艺术创作诸方面均收到了很好的使用效果,至于它在唱机中的应用,乃是沧海一粟而已。

## 2 激光唱片

激光唱片的本身历史是很短的,1970年,德国的宝丽金(polygram)唱片公司发明了用调频信号调制凹凸信号,以坑点的形式录制在圆盘(disc)上,这是把信号以数字化的方式存录在圆盘上成功的开始,然后,再以激光光学方式从圆盘上读取存录信号,这就诞生了激光唱片。在激光唱片发展中,最初由荷兰的飞利浦公司独家发展,在激光唱片商品化阶段,日本索尼公司也与飞利浦公司合作共同开发。目前,日商将音响产品成果大批推向市场。我国已大规模生产激光唱片,目前市场上流行的是激光光学式数字化唱片,其直径仅12cm,亦称CD唱片,放送唱片的机器则称CD唱机。

闪烁着银色光芒的小小圆片,它能单向放送60分钟音乐,不怕灰尘与轻微磨损,放唱过程中无机接触,因此其使用寿命之长则可想而知,它的放唱音质优美,左右声道隔离度高,高频失真小,频响宽,使用方便,是普通唱片的升级换代产品。

对于CD唱片,其编号由三个字母组成,以注明录音,混音等工序的采用技术,常见的有下列三种:

DDD——数码录音机录音,数码技术混音/剪

辑,数码技术制版。

ADD——模拟录音机录音,数码技术混音/剪辑,数码技术制版。

AAD——模拟录音机录音,模拟技术混音/剪辑,数码技术制版。

利用数字化录制的CD唱片,录制时将连续变化的声波切隔成许多间隔。具体地讲:将每秒钟内的声波分割成44100段,然后按每段幅度的大小,用二进制码的16位数来表示相应各段,即用脉冲编码调制技术,如图1。声音用微音器拾取,然后取样,取样频率至少为信号最高频率的2倍,这样,在数字信号还原成模拟信号时才不会失真。由于任一数字量的大小均以某最小数量单位的整数倍来表示,故取样值也必须化成此最小单位的整数倍,此转换过程称为“量化”。所规定最小单位 $\Delta$ 即数字信号最低有效值中的1, $\Delta$ 愈小,准确率愈高,失真愈小。CD唱片约分66000个量化单位,即16位( $2^{16} = 65536$ )。由此所切割的声波波形之振幅变成 $2^{16}$ 种信号,此波形可极其逼真地用一串“0”与“1”来表示了,但这些“0”和“1”并不就显示在唱片的坑点上,这是因为CD唱片采用了EFM(8—14调制)的调制方式来将其改变成只有9种不同长短的坑点,以9种坑点表示 $2^{16}$ 种不同信号,其工作原理如下:

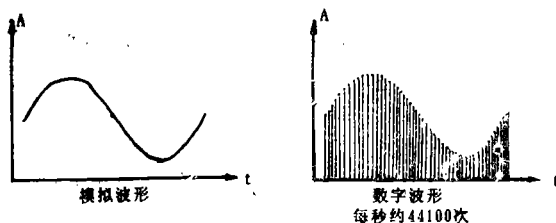


图1

将16位声信号先分成高阶8位与低阶8位,于是单位信号的种类一下子只有 $2^8$ 种了,然后将高低部位的8位信号变化成特殊的14位信号,这14位信号也有 $2^{14}$ 种之多,其中有适当连续的“0”,巧妙地

安排在“1”和“1”之间，信号的种类也就降低到 $2^8$ 稍多一些，即从14位的“0”和“1”组成的信号中，“1”和“1”之间的“0”连续有2个以上，10个以下的组合，仅267种（稍大于 $2^8 = 256$ ），因此，用这种特殊的14位信号，就能完全表示出8位的256种信号，文末附表为EFM变换的一部分。

在CD唱片中坑点(pit)的长度实际上是由相应于这14位信号出现0的数目来决定的，每遇有“1”出现处，数字化信号就由0→1或1→0反转以决定坑点的长度，可将其录在圆片的坑点中。坑点的

长度，依据EFM变换规则，看14位信号中出现“0”的个数，最少为2个“0”，最多为10个“0”。因此只有9种，即9种不同长度的坑点，可将声波的 $2^{16}$ 信号全表达出来了，而14位信号的连接是用3位结合位来实现。当然，CD唱片的录制不仅有表达声波的坑点信号，还须有同步、控制、错误改正等信号。图2为CD唱片录制信号的方框图，图3为放大12500倍的CD唱片坑点，在一张CD唱片上，可录制下约25亿个坑点，在放送时每秒可读取70万个坑点。

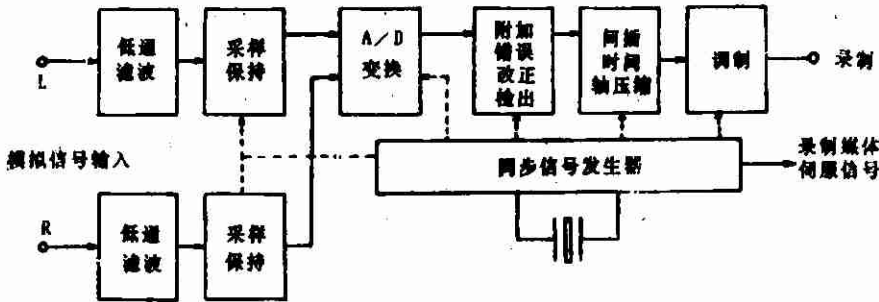


图2 CD唱片信号录制框图



图3 放大12500倍CD唱片的坑点

在唱片录制过程中，还使用了CD编码技术。从上面所述可知，声波中每一取样点的值均以16位二进制数表示，这就能够得到一个很高的分辨率。每增加一位，在理论上讲，信噪比可增加6dB，即产生了一个比原系统大得多的动态范围。每秒44100个取样值，这种“0”与“1”结合的声音位列是不能直接录制在CD唱片上的，除了代表声音的数值外，还要加入十分有效的交叉内跳，里德所罗门码(CIRC，即Cross Interleave Reed Solomon Code)用以改正信号漏失，并把它填补到后面的输出端上，理论上，它能改正一串多达4000个错误的群体(2.5mm轨道长度)，至于超过此数的群体错误(例如12300位错误，约7.7mm轨道长度)，也可以利用插补的方法使之隐藏起来，这是CD系统中一项很重要的环

节，它能提供一个很宽的容忍差错的界限，为制片不良及片子刮伤等引起的错误提供补偿。

经EFM调制处理的16位信息，再加3位连接位。为配合这样的处理，还有一串表示声道的位，叫做框，每框包含588个声道位，每框组成的起始点为立体声信号(6个声音取样区间)，即 $2 \times 6 \times 16$ 个声音位，这些位被分割成24个各8位的声音字符，这时，为使用CIRC以执行改正错误工作，再加入8个各8位的同位字符，接着再加入8位的控制及显示字符，每一个字符都被EFM调制转换为14个声道位，同时又延伸3个声道位作连接位，最后形成27个声道位(含3个连接位)的同步格式，这样，就构成一个完整的资料框。

CD唱片的材质是聚碳酸酯树脂材料，上面蒸镀铝质反光膜。

其主要特性如下：

- (1) 声道数——2
- (2) 频率范围——20~20000Hz
- (3) 动态范围——>90dB
- (4) 信噪比——>90dB
- (5) 声道隔离度——>90dB
- (6) 总谐波失真——<0.005%
- (7) 取样频率——44.1kHz

- (8) 量化——16位线性/声道
- (9) 声音速率——1.4112兆位/秒
- (10) 二进制数表示法——2的补码
- (11) 错误改正系统——交叉内跳里德所罗门码
- (12) 调制系统——8—14调制(EFM)
- (13) 声道速率——4.3218兆位/秒

### 3 激光唱机

激光唱机(CD Player)亦称雷射唱机,只有用它才能拾取与处理激光唱片中的数字化音响信号,并还原成适合于普通高保真扩音机输入的模拟声信号。

激光唱机的转盘不像普通电唱机那样是恒速的,它的转速是变化的,以保证其轨迹运行的线速度的恒定,激光唱机的激光光束拾取唱片上的信号时,信号轨迹以1.2~1.4m/s的恒定线速移动,先拾取唱片内侧轨迹的信号,然后逐渐向外侧圆周移动拾取,因此,内圆开始时转速为500转/分,到达外圆接近终止时,转速减慢至200转/分,另外,激

光唱机的转动方向也与电唱机的转动方向不同,是逆时针旋转的。

为了保证光学拾取系统在单位时间内拾取到的信息量是一个常数,则需要对转盘电动机进行控制,用下述方法可进行控制:数据分离器时钟脉冲计数读出唱片的取样频率,并将其与晶体控制的基准时钟脉冲相比较,用其误差信号来控制主轴马达;另一种方法是:分析时基校正器的地址关系,若唱片旋转过快,写入地址会偏向读出地址,如果唱片旋转过慢,写入地址会偏离读出地址,两个地址相减,产生一个误差信号,用以控制主轴马达。

由于在激光唱机中功能比较复杂,而且不同的功能必须彼此配合,相互之间要极其准确地结合起来工作,所以,用微处理器来担负高度自动化的工作,这微处理器也称为电脑或微电脑。

图4是激光唱机的电路框图,其主要系统原理如图5。

#### 3.1 光学拾取

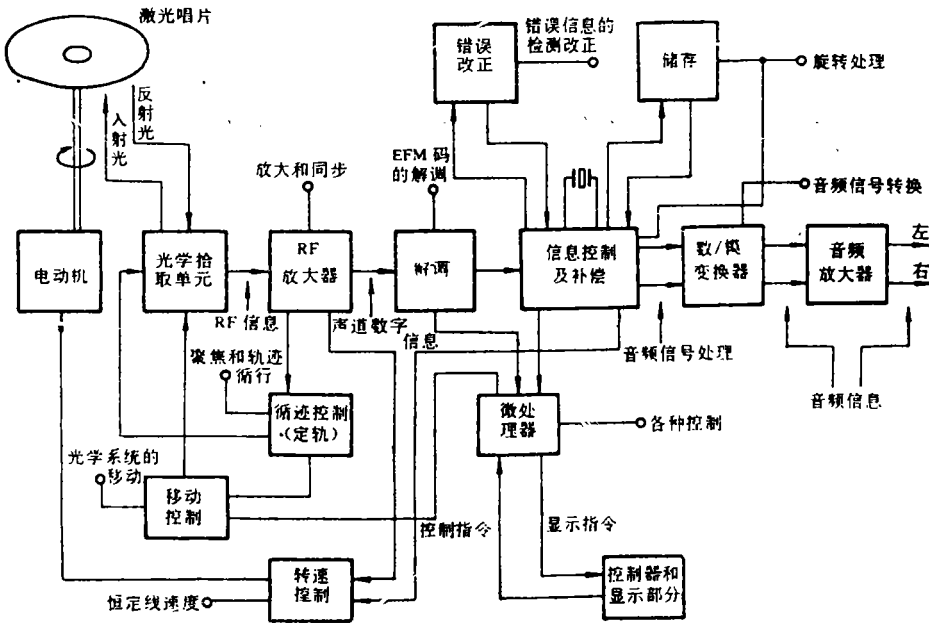


图4 激光唱机电路框图

本单元除了输出由激光半导体所发射出固定的尖细的单色光束外,还有一整套完善的光学系统,见图6。由图中可见,激光光束能准确地射到激光唱片的信号轨迹上,再用一套光电接收系统,把由信号轨迹上反射回的光信号引入光电接收元件中,转换成脉冲形式的电信号输出。此信号为数字化射

频信号。可见半导体激光器发射的激光束经分光棱镜等射向唱片,唱片信号轨迹上反射回的光信号亦由分光棱镜折射到光电二极管。

半导体激光器是一种砷化镓激光器,可把直流电直接变成相干的光,其主要部分是一个PN结,形状为长方形,体积仅与针孔差不多大,其端面磨得

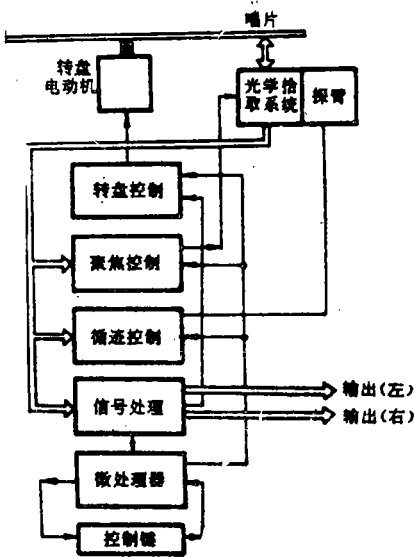


图5 激光唱机主要原理框图

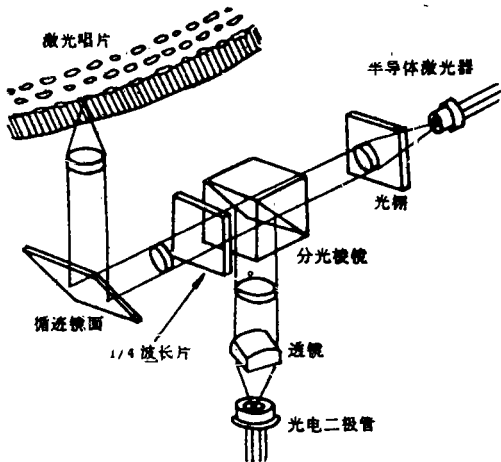


图6 光学拾取信号原理图

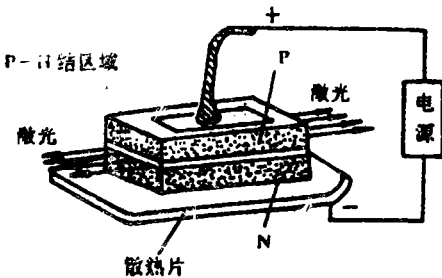


图7 半导体激光器的构造图

很光，且互相平行，P与N型半导体分别接电源的正与负电极，N型半导体与散热器相连，可控制PN结温度，使激光的强度与波长保持稳定，当PN结中

通上大电流时，其结合区域会发射出激光来，为提高发光效率，通常使用异质接合型激光二极管，所谓异质接合，就是使用的P型与N型半导体用不同的材料制成。图7为半导体激光器的构造图。

### 3.2 信号处理

由光学拾取单元得到的信号，是经过调制处理后的射频信号，该信号经射频放大器放大到足够强度，再送到解调还原电路部分，这部分有解调电路、错误改正电路、信息控制和D/A转换(数模转换)电路。

**解码器** 把接收到的高频数字化信号进行解调，将解调后的信息资料及时序信号传递给错误改正电路和微电脑，输入的信息先送到移位寄存器，由定位检测器判定其同步信号所在，从而确定资料框的起始处于何地，这些信息将馈送到时序及控制逻辑，以使解调与接收信息同步化。若时序产生器已锁定在高频信号的频率时，每接收一个14位字符，先存放在锁存器中，再由EFM解码器解调成一个8位字符，解调后的声信息继续传递到错误改正器里。同时，时序及控制逻辑提供必要的时钟信号、字符及框同步信号。锁相回路PLL中的压控振荡器产生4.3218Mbit/s的参考时钟，这是因为，高频信号信息率为4.3218百万位/s，于是，解调器系统内任一部分所用的时序均可由它导出。

**错误改正器** 通常采用交叉存取里德所罗门编码(CIRC)方式，与普通电唱机用前置电路的均衡电路完全不同。由解调器传来的信息是一个个由32个各8位字符组成的资料框，其中24个字符是声音字符(一个字符相当于16位声音取样单元的1/2)，另8个字符就是用于检测错误与改正处理的奇偶检测字符。信息以串行方式进入一组寄存器阵列，该阵列含移位及先进先出寄存器各一，前者用于积累字符以供并行处理信息，后者如同抖动衰减电路，用于补偿±2个资料框正常信息的抖动，并能消除系统内的一些噪声。错误改正电路的信息输出速率取决于晶振所决定的时钟脉冲，由标称的与实际信息率之间的误差信号来控制马达的转速。信息字符的内跳在错误改正器内将以解内跳的动作方式予以补偿。内跳是错误改正编码过程的一部分，信息字符在进入错误改正集成电路的A与B两个检测器之前，先执行内跳动作，执行时信息字符会被暂时存入外部RAM内，由解调器出来的信息字符借此RAM而执行解内跳，于是该32个字符作为A

检测器的输入将会被测试有无错误发生。输入字符与奇偶检测矩阵相乘,可得4个判断错误的字符。若无错误发生,则4个字符都等于0,同时A检测器输出的28个信息字符会写入RAM,4个同位字符将会消除。若有一个字符有错,该字符会立即被改正,然后28个字符再被写入信息RAM,若有2个或2个以上错误,则带错误的28个字符虽然不改变地存入RAM,但同时会出现一个旗标信号,说明该组字符已不可靠了。A检测器输出的字符借信息RAM执行解内跳动作,同时28个形成B检测器输入的字符靠检测其4个判断错误的字符而检测有否错误发生,若无错,则此4个判断符之值均为0。B检测器输出信息不改数值被写入RAM,剩余4个同位字符被除去,若有一个字符有错,该字符改正后如同在A检测器中那样24个改正后的信息字符再被写入RAM内,根据消除旗标而定出消除字符,此符可将两个错误予以改正,然后将全部24个改正后的字符写入信息RAM,若B检测器中测出2个以上错误时,虽然全部24个字符不改其数值写回RAM里,但B检测器也会设定一个旗标,表明该组24个字符为不可靠,经过错误改正器处理的信息,即资料框及其同步信号、时间脉冲等将一起输出。

**插补与静音电路** 此电路用于减少噪声,该噪声主要来源于错误改正集成电路的未被改正的错误信息取样上。在执行过程中,若无错误旗标出现,信息电路通过本单元将不受影响,若左、右声道中出现错误信息,而旗标设定于良好取样中间时,线性插补将取代错误信息数值,当出现两个或两个以上连续错误的设定旗标时,则该错误取样将被静音,该过程为:在连续错误取样之前,先送出30个取样值,其值将以余弦曲线的形状被平滑地衰减至零电平,余弦角为 $0\sim\pi$ ,该曲线使用系数已存于ROM内,执行衰减时,取样值与这些系数相乘,待这些连续错误经过之后另30个取样以相同余弦曲线的形状将声信息值缓慢拉回到满电平,此时,余弦角为 $\pi\sim 2\pi$ ,当然,不管发生在哪个声道的错误,静音与衰减均将同时在两个声道中执行。晶振产生的基准信号作为错误改正器与数位滤波器的参考时钟脉冲,当使用资料框同步信号于内部时序重置之后,插补及静音电路才自动对错误改正电路的输出进行同步控制。

**数模变换器** 激光唱机内信息的处理过程都是在数字化的状态下进行的,最后,必须把这些处理

后的数字化信息转换回模拟信号状态,这就需要用数模转换电路。通过解码,改错的信息是一种连续的16位字符,每个字符代表某一特定时间声音信号取样大小的二进制数值,这些字符以44100字/秒的频率出现,数模转换器(D/A)对每一个数字字符产生一定时间的电流值,并保持此电流值到下一个字符进来时为止,这些电流就形成了一个模拟信号波形的近似步级曲线,这是一种高频波,必须经过滤波器予以抑制,以使它们与原始的声音模拟信号尽可能地一致,以最小的失真送到扩声系统中去。

### 3.3 循迹控制

激光唱机在工作时,由于光学拾取信号要依循唱片上的信号轨迹作恒线速运动,所以,转盘的实际转速要有精密的伺服控制,使转速由快逐渐变慢,电路中控制光学拾取移动的信号指令来自微处理器控制部分的输出,其作用是监察拾取信号移动与聚焦状况,若有偏离就会及时产生调节信号去纠正移动控制部分,以确保所拾取信号的完全可靠。在实际工作中,由于唱片上坑点非常细微(仅零点几个 $\mu\text{m}$ ),轨迹之间隔离也仅为 $1.67\mu\text{m}$ ,所以,只有激光才能使光束与聚焦点达到如此细微的程度,将反射光分别射到两个独立的光电二极管上,若左右两边的反射光相同,则循迹正常,那么,两个光电二极管输出的电信号也相同,用检测电路使其输出为0,即无调整信号输出,唱盘将依照其正确循迹轨道继续运行,光束发生偏离声道轨迹后,反射回到两个光电二极管的光通量不相同,光电二极管输出的两个电信号也不相等,检测电路输出一个信号差来,这个信号被称为辐射误差信号,将它送到控制拾取单元的探臂上,就可或左或右地调整光点,直至错误得到纠正。

### 3.4 聚焦控制

要从唱片上准确可靠地拾取信号,光学拾取单元射出的激光束的聚焦点必须恰好落在唱片的声迹轨道即信息面上,实际上,唱片与转盘很难极精确地保持在一个固定的平面上,上下抖动是难以免除的,因此,只有保持聚焦位置,使之不断随转盘的上下抖动而自动调节焦点,达到灵活伸缩,从而始终保持聚焦点能精确地打在坑上。

当焦点不在坑点表面时,射在坑点上的激光束会“粗”些,它反射回来的光与正常情况时不同。依反射光的不同可判断距离过“远”过“近”还是正确的。这是用两个光电二极管来接收反射光,若聚焦

点位置恰好与唱片的信息面一致，则反射光的焦点也将和光电二极管的接收面一致。反之，当唱片与目标物透镜之间距离过“大”或过“小”时。激光束将不能在唱片信息面上聚焦，从而其反射光的聚焦点要么落在光电二极管前面(距离太“远”)，要么落在光电二极管接收面的后方(距离太“近”)。显然，任一聚焦错误都将引起两个光电二极管接收面上光通量的不同，使其电信号差值起变化，该信号经微处理器控制的伺服系统去操作聚焦系统，移动目标物透镜。该透镜的移动方向是通过一固定线圈的控制电流方向来决定的，移动位置的大小取决于电流的强弱。

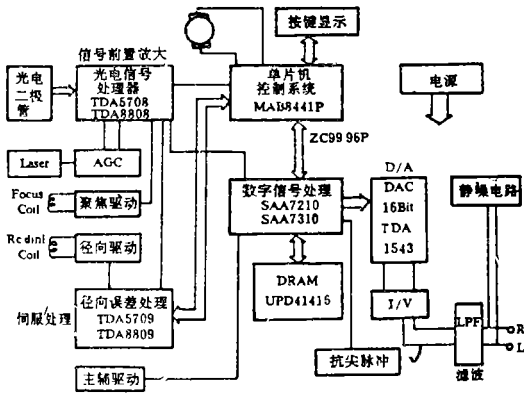


图8 激光唱机电路框图

图8为一激光唱机的具体电路结构框图，其功能为：信号前置放大、伺服部分，数字信号处理、D/A转换、音频滤波放大、按钮显示、控制系统、电源等。现简要说明如下：MAB8441为一单片机，带8位LED驱动，它控制整个CD系统的工作状态，实现按钮及显示控制、伺服状态、装盘电机和数字信号处理器的各种功能以协调自动化工作的控制。TDA5708是光电二极管信号处理器，主要功能是放大转换来自光电接收器的光电信号、处理聚焦、径向控制电路的误差信号、前置放大及自动激光功率控制等；TDA5709是径向误差处理器，它接收来自TDA5708的径向跟踪误差信号、单片机MAB8441的光头送入信号，实现正常的跟踪、快进/快退、搜索、重放、暂停等功能时光头的径向运动；SAA7210是数字信号处理器，主要功能有EFM码解码副码处理，Q码输出，纠错及删除，CLV控制与外部RAM、MAB8441单片机之间的数据传输和状态控制并输出音频数字信号到DAC转

换器TDA1543中去。TDA1543是16位D/A转换器，串行输入，电流输出，完成D/A转换及左、右声道分离。

一般激光唱机的主要技术条件如下：

- 频率范围：20~20000Hz
- 音频输出电平：1.7V RMS
- 动态范围：>80dB
- 信噪比：>85dB
- 通道分离度：>85dB
- 总谐波失真：<0.03% (70dB)
- 输出阻抗：500Ω
- 光头系统：
- 激光器类型 AlGaAs (铝砷化镓)
- 物镜数值孔径NA 0.456
- 激光器滤波波长 780nm
- 聚焦深度 约2μm
- 唱片表面光束直径 约1μm

#### 4 激光唱机的使用

电源开关(power) 按下此开关即接通电源，使机器处于准备状态，显示屏幕上出现“0 0 0 . 0 0”字样。

唱片托盘(disc) 供安放激光唱片，放置唱片时注意要把有标志的一面朝上，因一般唱片都单面使用。

出/进盘(open/closc) 按下此钮，唱片托盘即从机内缓缓伸出，放妥后再按钮一次，托盘又徐徐进入机内。

指示器(indications) 含有暂停(pause)、预选(program)和重放(repeat)三种指示，以显示机器正在从事的工作状态。

显示器 用数码来反映出唱片上每段节目的次序号、全部节目或预选段的工作时间、检索的号码及剩余的工作时间。

显示键(display) 当托盘载有唱片进入机内，检拾系统即对唱片扫描，约3秒钟后显示器上即出现全部数据，六位数码会出现具体数值，如“11 33 48”数字，则表示唱片共有11段曲目，总工作时间为33分48秒，待正式放唱时，显示器又从“1 0 0 . 0 0”开始依次显示正在放唱的程序序号及时间。在放唱过程中，若按一下此键，会显示出“total”字样，数码显示的数值表示为唱片总节目数与总工作时间，重复再按一下，则显示“index”为被检索的节目序号，又按一下会显示“remain”则

为剩余工作时间。

预选(program) 机内微处理系统可按事先编排的次序自动放唱曲目,每次最多预选节目数为一定值,如15首歌曲。

重放(repeat) 按下此键可周而复始地放唱整张唱片或按预先编选的节目内容放唱,若不需要重复放唱,则再按一下即可取消。

停止/清除(stop/cleap) 放唱过程中一按此键,则唱片立即停放,要清除已预选的内容,只需连接两次即可。在放唱过程中若要更换唱片,应按此钮使机器先停止工作,再按出盘钮“open”。

放/暂停(play/pause) 唱片入机后,按此钮则开始放唱,中途需停止,则需再按一次,显示器会显示此时的工作状态。

跳放(skip) 用此钮可向前(“▶”)或向后(“◀”)一个个地跳跃放唱,先按显示开关“display”,使显示器出现“index”字样,再按“skip”钮,直至寻找到欲放唱之节目,随之按“play”钮即可放唱。当唱机处于暂停状态时,亦可利用此钮来寻找需放唱之起点,释放暂停(pause)钮,即可开始放唱。

搜索(search) 按此钮可向前(“▶”)或向后(“◀”)快速搜索选听。

#### 编辑功能

(1)用“stop/cleap”钮清除以往程序,使机器进入准备工作状态。

(2)用“skip”钮选择第一个预选节目序号,然后按一下“program”钮。

(3)用“skip”钮再选择另一个节目序号,然后按一下“program”钮。

(4)重复用“skip”钮选择节目,最多不超过机器所给的最大贮存数。

(5)编选完毕,按一下“play”钮,即可连续按照所编辑的程序放唱了。

(预选完毕后,按住“skip”钮,可从显示屏上观察预选节目的序号顺序及总工作时间,然后放唱,做到心中有数)。

附表 EFM变换的一部分 (十进制数100~110)

10进位	2 进 位	
	8 位	14 位
100	01100100	01000100100010
101	01100101	00000000100010
102	01100110	01000000100100
103	01100111	00100100100010
104	01101000	01001001000010
105	01101001	10000001000010
106	01101010	10010001000010
107	01101011	10001001000010
108	01101100	01000001000010
109	01101101	00000001000010
110	01101110	00100010000010

(上海)中科院东海站 张国华

## 会议消息

中国声学学会功率超声分会和上海市声学学会将于1994年第四季度在上海联合召开功率超声学术讨论会。应征论文摘要(500~800字)于6月10日前送交张福成同志。地址:西安南郊陕西师范大学应用声学研究所,邮编:710062。