

录音机电路原理与设计

杨 声 昌 编著

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本书共十五章, 主要包括: 盒式录音机电路的总体设计, 放音频率均衡放大器、线路放大器、录音频率补偿电路、超音频振荡器、AFC 电路、等响度控制电路、音调控制电路、电源电路、灯光指示电路的原理、设计与调试。对于立体声声象展宽以及调频立体声解码器等电路原理也作了分析和介绍。

本书可供从事收录音机工作的工程技术人员、修理人员以及广大业余无线电爱好者参考。

录音机电路原理与设计

杨 声 昌 编 著

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

发行所上海发行所发行 安徽新华印刷厂印刷

开本787×1092 1/32 印张11.5 插页1 字数253,000

1984年7月第1版 1984年7月第1次印刷

印数: 1—90,000

统一书号: 15119·2325 定价: 1.55 元

前 言

近年来,我国的录音机生产发展很快,品种日新月异,质量亦在不断提高。录音机有它的独特功能和用途,能够记录和重放各种语言、音乐和戏曲等节目,因此为广大人民群众所喜爱。

本书首先说明盒式录音机电路的总体设计。然后对各种电路作了较为全面的分析。对于每一种电路,除了说明其工作原理外,还说明了设计计算和调试方法,内容力求通俗易懂,实用可靠。

对于立体声声象展宽以及调频立体声解码器等电路的原理也作了介绍。

本书大部分内容是作者自己工作实践的总结。由于本人的业务水平所限,殷切期望广大读者能对书中的错误和缺点批评指正。

编者 1983年6月

目 录

第一章 盒式录音机电路的总体设计	1
第一节 盒式录音机的主要性能指标	1
第二节 盒式录音机的综合频率特性	5
第三节 动态范围	7
第四节 整机电路的总体设计	11
第二章 放音频率均衡放大器(放音 <i>EQ</i> 放大器)	34
第一节 放音 <i>EQ</i> 放大器的工作原理	34
第二节 放音 <i>EQ</i> 放大器的设计	39
第三节 放音 <i>EQ</i> 放大器的调试方法与实验结果	52
第四节 放音 <i>EQ</i> 放大器的几个问题讨论	57
第三章 线路放大器——线路输入和线路输出	61
第一节 线路放大器的基本要求	61
第二节 常用的线路放大器	65
第三节 其它电路程式的线路放大器	80
第四章 录音频率补偿电路	88
第一节 磁头的主要性能参数确定	88
第二节 <i>RC</i> 录音频率补偿电路	94
第三节 直流偏磁的特殊录音频率补偿电路	103
第四节 改进的直流偏磁特殊录音频率补偿电路	115
第五节 交流偏磁特殊录音频率补偿电路(<i>HFR</i> 电路)	123
第五章 超音频振荡器	141
第一节 录音方式比较	141
第二节 振荡原理和一般设计公式	142
第三节 单管偏磁(超音频)振荡电路	145

第四节 推挽偏磁(超音频)振荡电路	151
第六章 自动电平控制(<i>ALC</i>)电路	157
第一节 <i>ALC</i> 的作用原理	157
第二节 用二极管作控制元件的 <i>ALC</i> 电路	166
第三节 用三极管作控制元件的 <i>ALC</i> 电路	177
第四节 控制范围 60~80 dB 的 <i>ALC</i> 电路	180
第七章 电平指示电路	186
第一节 接在功率输出端的电平指示电路	187
第二节 接在线路输出端的电平指示电路	189
第八章 混合录音电路	198
第一节 工作原理及电路设计	198
第二节 混合录音方法举例	203
第九章 等响度控制电路	205
第一节 等响度曲线	205
第二节 <i>RC</i> 等响度控制电路	207
第三节 <i>LC</i> 等响度控制电路	211
第十章 <i>LC</i> 音调控制电路	227
第一节 音调控制的一般原理	227
第二节 <i>LC</i> 音调控制电路	230
第十一章 并联供电的 <i>OTL</i> 功率放大器	240
第一节 工作原理	240
第二节 电路设计与调试	242
第十二章 电源电路	252
第一节 具有过载和短路自动保护的小电流稳压电源电路	253
第二节 具有短路自动保护的大电流稳压电源电路	256
第十三章 灯光指示电路	267
第一节 单灯功率指示电路	267
第二节 跳跃型双灯功率指示电路	269
第三节 跳跃型多灯功率指示电路	273

第四节	调幅收音机灯光调谐指示电路	288
第五节	灯光音调指示电路	292
第十四章	立体声声象展宽电路	298
第一节	基线	298
第二节	声象展宽原理	302
第三节	立体声展宽电路	309
第十五章	调频立体声复合信号和解码器电路	317
第一节	立体声复合信号	318
第二节	调频立体声信号的调制频率、调制度(频偏)和带宽 ...	322
第三节	简单的立体声解码器电路	325
第四节	具有单声/立体声自动转换的立体声解码器电路	331
第五节	集成电路立体声解码器(LA3301)	335
第六节	锁相环集成电路立体声解码器(LA3361)	343

第一章 盒式录音机电路的总体设计*

盒式录音机的主要组成部分有机芯和电路。

机芯主要由电机、磁头、走带机构以及功能转换系统等组成,用来驱动磁带运走,进行电磁信号转换。录音机的各种功能转换按钮都安装在机芯上。

电路主要有放音频率均衡(EQ)放大器、线路放大器、录音频率补偿电路、超音频振荡器、音调控制电路、功率放大器、电源电路以及电平指示等附加电路,用来放大电信号,并且把电信号还原成声音。

第一节 盒式录音机的主要性能指标

盒式录音机的主要性能指标有五项:带速误差、抖晃率、频率响应、失真度和信噪比。前两项属于机芯部分的性能指标,由机芯的优劣决定;后三项属于电路部分的性能指标,主要由电路决定,但也与机芯,特别是与磁头密切相关。

一、带速误差

带速误差指的是录音机的实际平均带速(V)与额定带速(V_0)的相对误差的百分数,即

$$\text{带速误差} = \frac{V - V_0}{V_0} \times 100\%$$

* 本书只讨论录音机部分的电路,收音机电路不讨论;只在讨论有关电平接口时,才提到收音机电路的检波输出特性。

盒式录音机的额定带速规定为 4.76 cm/s 。

一般带速误差应在 $\pm 2\%$ 以内, 最差不得超过 $\pm 3\%$ 。这是为了节目的互换而要求的。如果带速过高, 把从这种录音机录制的节目在正常带速的录音机上放音, 则节奏变慢, 频率也会变低。若带速太低, 则所录制的节目在正常带速录音机中放音时, 节奏变快, 频率变高。这样便影响了重放质量, 也就是节目的互换性差。

二、抖晃率

这个指标用来衡量录音机走带速度的瞬时变化的大小。走带速度的瞬时变化, 会使原来录制在磁带上的固定频率 f_0 发生偏移(称为寄生调频), 变成 f 。二者之差 $\Delta f = f - f_0$ 称为寄生调频的频偏。抖晃率可用公式表示如下:

$$\text{抖晃率(峰值)} = \frac{\Delta f}{f_0} \times 100\%$$

通常抖晃率应在 $\pm 0.5\%$ 以内, 最差不应超过 $\pm 0.6\%$ 。抖晃率过大, 会影响放音频率和输出电平的稳定度, 特别对频响的高音频段影响更大, 因而录音和放音质量都将变差。

三、频率响应(频响)

对于盒式录音机的频响要求如图 1-1 所示, 以参考频率 315 Hz 的输出电平为 0 dB , 要求在 $f_1 \sim f_4$ 范围内的电平变化不超出 $\pm 3 \text{ dB}$, 其中 $f_2 \sim f_3$ 电平变化不超出 $\pm 3 \text{ dB}$ 。图中, A 为理想频响曲线, B 为正允差, C 为负允差。国家标准对各种级别的盒式录音机的 f_1 、 f_2 、 f_3 、 f_4 都有规定, 见表 1-1。

频率响应有放音通道频率响应与自录自放(全通道)频率响应之分。一般情况下, 放音频响比自录自放频响宽些。但是采用特殊的录音频率补偿电路之后, 自录自放频响也可做

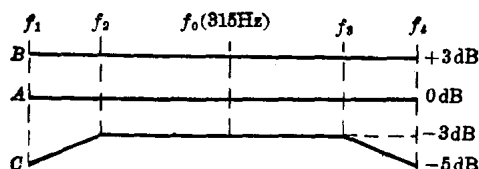


图 1-1 频率响应 $f_1 \sim f_4$ 的规定

表 1-1 频率响应的国家标准*

频 率	一级	二级	三级	四级
$f_1(\text{Hz})$	31.5	63	125	技定
$f_2(\text{Hz})$	63	125	250	技定
$f_3(\text{Hz})$	10k	6.3k	3.15k	技定
$f_4(\text{Hz})$	16k	8k	6.3k	技定

到与放音频响完全一样。一般普及型录音机放音频响约为 $125\text{ Hz} \sim 8\text{ kHz} (\pm 3\text{ dB})$ ，自录自放频响为 $125\text{ Hz} \sim 6.3\text{ kHz}$ 。较好的录音机要求频响为 $63\text{ Hz} \sim 14\text{ kHz}$ ，高保真系统要求 $31.5\text{ Hz} \sim 16\text{ kHz}$ 。

录音机的频率响应与磁头本身的放音频率特性有很大关系。磁头的放音频响差，靠电路是不容易补偿好的。当然，如果在电路上处理不当，好的磁头也会放不出好的频响。频响的低音频段主要决定于磁头的轮廓效应，在电路上比较容易做好，关键在于频响的高音频段。录音机的放音质量比调幅收音机或普通唱机好，主要也在于高音频段较宽的缘故。

四、失真度

这里是指谐波失真。它也有放音通道失真度与自录自放

* 摘自《中华人民共和国国家标准——磁带录音机基本参数和要求——GB 2019-80》，1981年4月1日实施。以下同。

失真度之分，前者要求失真度比后者小。一般要求放音失真小于3%，自录自放失真不大于5%。较好的录音机放音失真小于2%，自录自放失真小于3%。高保真系统要求不大于2%。国家标准对各级录音机的全通道(自录自放)谐波失真要求如表1-2。

放音失真主要由放音电路决定。自录自放失真除了与放音电路有关，还与录音磁头及其录音偏磁大小、磁带本身的质量等因素有关。

表 1-2 全通道谐波失真的国家标准

级 别	一级	二级	三级	四级
线路输出(电压)(%)	2	3	5	7
功率输出(%)	/	5	8	10

有些录音机设有线路输出插孔，可是目前大多数普及型录音机只有耳机插孔(功率输出插孔)，没有线路输出(输出阻抗较高，为电压输出)，但线路输出信号的频响、失真度以及信噪比均较功率输出的信号好。

五、信噪比

信噪比是指规定的输出电平与输入端短路(或接与信号源内阻相当的等效电阻)后输出噪声电平之比(用dB表示)。这个比值应该越大越好。信噪比高，听放音就觉得安静，纤细的高音也能清晰可闻。一般，节目源的高音输出电平都比中、低音输出电平小得多，若放大器的信噪比太差，噪声电平比节目源输出的纤细的高音电平还要高得多，噪声将淹没节目中的高音信号。噪声大，听放音时会觉得讨厌。噪声包括机内本身的静噪声和来自机外的各种干扰声以及声源本身的噪

声,等等。一般录音机的信噪比在 40 dB 左右,较好的可达 50 dB。高保真系统要求不小于 60 dB。国家标准对各级盒式录音机的信噪比规定如表 1-3。

表 1-3 信噪比的国家标准(不计权)

级 别		一级	二级	三级	四级
放音通道	双迹(单声道)(dB)	51	43	38	33
	四迹(立体声)(dB)	48	40	35	30
自录自放 (全通道)	双迹(单声道)(dB)	48	40	35	30
	四迹(立体声)(dB)	45	37	32	27

第二节 盒式录音机的综合频率特性

图 1-2 是盒式录音机的频率特性曲线。其中 ABO 是最终放音的综合频率特性曲线(自录自放的综合频率特性曲线)。理想情况下,要求 ABO 频段为平坦响应。实际上 ABC 频段不可能平坦,在高、低频段均可能下降,中间部分也不可能完全平坦。上升或下降

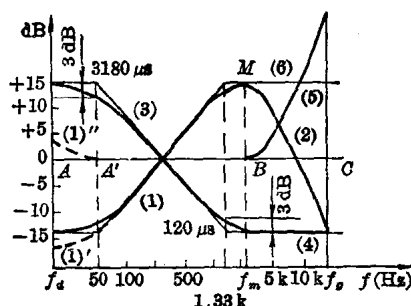


图 1-2 盒式录音机的频率特性曲线

的范围与 315 Hz 的电平比较应在 $+3 \sim -5$ dB 之内。在讨论问题时,为了方便,我们假定 ABO 频段为平坦响应。

怎样获得尽可能宽的平坦的综合频率特性,是录音机电路设计中最重要内容之一。

图 1-2 中, 曲线 (1) + (2) 是录音磁头在最佳偏磁状态下进行恒流录音(从 $f_d \sim f_v$, 保持录音电流相等)后, 从磁头二端直接测得的放音输出特性(自录自放特性)。曲线的主要特点是: 在某个频率 f_m (因磁头不同而不同, 通常在 $2 \sim 4 \text{ kHz}$ 之间)处即曲线的 M 点输出最大; 低于 f_m 的中低音频段约每二分之一频程衰减 6 dB ; 高于 f_m 的中、高音频段, 由于磁头本身对高频存在多种损耗, 它的衰减速度比低音频段快得多, 频率越高, 衰减越快。一切录放音磁头的自录自放特性曲线, 其变化趋势都如此。

图 1-2 中, 曲线 (3) + (4) 是盒式录音机放音频率均衡放大器的补偿曲线, 这是国际通用的标准曲线。按国际统一标准, 在使用常规磁带(NORMAL)的情况下, 对该曲线规定了两个时间常数: $120 \mu\text{s}$ 和 $3180 \mu\text{s}$, 其中 $120 \mu\text{s}$ 对应的转折频率为 1.33 kHz , 高于该转折频率时响应曲线(4)趋于平坦, 与 1.33 kHz 的输出电平相比较, 最多衰减 3 dB ; 1.33 kHz 以下的低音频段曲线(3)则具有每二分之一频程 6 dB 的提升斜率。因此, 放音频率均衡放大器的总频率补偿曲线可看成是转折频率为 1.33 kHz 的低音频提升曲线。 $3180 \mu\text{s}$ 对应的转折频率为 50 Hz , 低于该转折频率时曲线趋于平坦, 与 50 Hz 的输出相比较, 最多提升 3 dB 。

校正录音机的综合频率特性成为平坦的 ABC 频段, 第一步要先校正放音频率均衡放大器的频率补偿曲线(3) + (4)段。校正的具体方法见第二章(放音频率均衡放大器)。通常都用标准频响测试磁带 MTT 216 R(单声道)或 MTT 216 (双声道)放音, 从放音 EQ 放大器的输出端测量各频率点的输出电平, 使达到处处电平相等。

对比自录自放(全通道)的频率特性曲线(1) + (2)和放音

EQ 放大器的频率补偿特性曲线 (3) + (4) 可看出, 在 f_m 以下的频率, 曲线 (1) 与曲线 (3) 正好对应相反, 综合 (1) 与 (3) 便可把 (1) 校正成平坦响应的 AB 段。因此录音时, f_m 以下的频率一般不必加录音电流补偿, 而只须由恒流源供给磁头以恒定录音电流即可。但是当频率很低时(通常低于 63 Hz), 由于磁头的电感量不够大, 恒流录音之后的输出会进一步下降 3~6 dB, 如曲线 (1)'。为此, 对于某些要求较高的录音机也常有适当的低音频补偿, 如曲线 (1)''。

为了使录好音的磁带经过具有频率响应曲线 (3) + (4) 的通用放音 EQ 放大器放音后, 获得 ABO 的平坦输出特性, 必须把 f_m 以上的自录自放(全通道)频响曲线 (2) 也补偿成具有平坦输出特性的曲线 (6)。这就要求录音时需对 f_m 以上的频率进行录音电流提升补偿, 并且其提升曲线 (5) 应与曲线 (2) 对称相反。经过这样提升补偿后, 磁头二端的自录自放(全通道)频响特性曲线将为 (1) + (6)。 (1) + (6) 的特性正好与 (3) + (4) 反对称。这样就最后获得平坦输出的综合频率特性。

校正录音机综合频率特性的第二步实际上就是调整供给录音磁头的录音电流, 使它具有如图 1-2 中的 (1)'' + $A'B$ + (5) 的补偿特性。其中, 如何获得曲线 (5) 所示变化规律的录音电流特性, 是一般盒式录音机电路设计中较难处理的问题。本书第六章讲到的特殊的录音频率补偿电路就能比较理想地解决这个问题。

第三节 动态范围

动态范围不直接属于录音机的性能指标项目, 但它要直

接影响录音机放大器的失真度、信噪比等主要项目的性能指标。如果动态范围处理不当，就会严重影响录音机的录音和放音质量。

动态范围有节目源的动态范围和放大器的动态范围之分。节目源的动态范围是指它的最大可能输出电平与最小可能输出电平之比(用 dB 表示)。放大器的动态范围则是指信号的最大不失真输出电平与取消信号源并用和信号源内阻等效的无感电阻代替信号源(或者把放大器的输入端短路)之后放大器的输出噪声电平之比(用 dB 表示)。通常要求放大器的动态范围应大于节目源的动态范围。

一般实况演出的音乐(特别是交响乐)和戏剧节目，其动态范围可达 $75\sim 80\text{ dB}$ ($5000\sim 10000$ 倍)。经话筒拾音后其中的最大输出常为节目中的低、中音，最小输出为高音，它们之间的输出电平差约 $10\sim 20\text{ dB}$ ，甚至更大些。通常认为放大器的输出噪声电平低于节目源最小电平经放大后的输出电平 6 dB 左右便能满足听清高音要求，这是放大器动态范围的下限；放大器动态范围的上限(最大不失真输出电平)应不小于节目源动态范围上限。因此一个高保真度放大器系统的动态范围要有 $80\sim 86\text{ dB}$ ($10000\sim 20000$ 倍)。

一个放大器若能输出 10 V 不失真电压(动态范围上限)，而输出噪声电压为 1 mV (动态范围下限)，则说它的动态范围为 80 dB ($10000\text{ mV}/1\text{ mV}=10000$ 倍)。同样，如果放大器输出的最大不失真电压为 1 V ，但输出噪声电压只有 0.1 mV ，则该放大器的动态范围也是 80 dB 。从这个意义上看，放大器的动态范围是可移动的，往上移(如上述 $10\text{ V}\rightarrow 1\text{ mV}$)或往下移(如上述 $1\text{ V}\rightarrow 0.1\text{ mV}$)。那么放大器的动态范围哪一种好呢？这要看节目源的一般输出电平(或称为灵敏度输出电平)

才能确定。

一般节目源常给出它的灵敏度输出电平数据。为了处理好放大器与节目源的接口，也就是为了确定放大器的动态范围的方便，可把动态范围以灵敏度电平(定为0 dB)为基准，分为上动态范围和下动态范围。有了这个划分之后，任何节目源的上动态范围一般定为26~32 dB(20~40倍)，下动态范围为55~60 dB(500~1000倍)。只要知道节目源的灵敏度输出电平，便可算出它的最大可能输出电平。表1-4列出几种常用节目源的灵敏度输出电平及其它有关的主要特性，可供设计与之相接的放大器时参考。

设计放大器时，节目源的灵敏度输出电平是确定放大器增益时作为其输入端的参考输入电平；节目源的上动态范围(最大可能输出电平)则是确定放大器上动态范围(最大不失真输出电平)的依据，确定放大器的工作点时，需要知道对它要求的最大不失真输出电平。设计放大器时还必须注意使它的输入阻抗不低于节目源的输出阻抗。

目前，由于受元器件的固有噪声水平等因素限制，放大器所能达到的动态范围往往小于节目源的动态范围。例如一级线路放大器目前可能达到的动态范围，一般水平在80 dB左右，亦即，线路放大器的最大不失真输出电压一般在1~2 V左右，其噪声输出电压约0.2 mV。加上放音EQ放大器之后，动态范围将下降到70 dB左右。如果再包括音调控制和功率放大器，即从放音EQ放大器输入端到功率放大器输出端，在高、低音调均置于最大提升量的最差条件下，动态范围还要进一步下降到50~60 dB。设计放大器时，必须重点保证它的上动态范围与节目源的上动态范围相适应，要设法扩展下动态范围，必要时宁可放弃一些下动态范围，因为这时只

表 1-4 几种常用节目源的输出特性(仅供参考)

节目源	输出处	灵敏度输出电平 (mV)	最大可能输出电平 (mV)	输出阻抗 (Ω)	频率响应 (Hz)
电唱机	晶体唱头	50	1000~2000	>470k	100~7k
	动圈唱头	0.2	3	几十	20~20k
录音机	线路输出	50	几百~1000	600~几千	20~20k
	磁头输出	0.2	3	几百~2k	几十~几千~十几千
收音机	调幅检波	20	600	几千~几十千	50~4k
	调频检波	10	200	几千~几十千	30~15k
电容话筒	一般讲话	0.2	3	200	40~15k
		0.5	20	600	40~15k
动圈话筒	一般讲话	0.2	3	200	100~10k
		0.5	20	600	100~10k
		20	200	20k	100~10k

是信噪比变差,放大器却不会出现强信号过载失真,保持了原节目的较高重放音质;否则,虽然可提高信噪比,放大器却会出现强信号过载失真,从而会严重破坏放音质量。

在录音机中,同一个放大器的输入端常要与多个节目源相接,往往会碰到放大器的动态范围比节目源动态范围下移的情况,这时,常用衰减节目源的输出电平办法来达到使其动态范围与放大器动态范围相适应。必须注意,不要把这种节目源的输出电平进行大量衰减成小信号后又去送到小信号放大器进行放大。这种衰减后又放大的过程是多余的,反而会使信噪比恶化,失真度也会增加。例如,不要把收音机检波输出信号电平或来自另一架录音机的线路输出信号电平进行大量衰减成小信号后再送到放音 EQ 放大器(没有频率补偿)

去放大, 而应将上述信号根据要求作适当衰减后直接送线路放大器放大。

第四节 整机电路的总体设计

盒式录音机电路设计的第一步是根据产品的设计任务书确定录音机应有的功能, 拟制整机方块图, 合理分配各方块图的增益, 给出各方块图的主要技术指标要求。第二步是根据整机对方块图的主要技术指标要求以及性能/价格比等方面的考虑画出各方块图的优选电路。第三步是根据分配的增益和给出的主要技术指标要求对优选电路各元件进行具体设计计算, 从而完成全部设计任务。最后, 还必须进行验证和修正, 直至符合设计要求为止。

图 1-3 给出的方块图是盒式录音机(国家标准三级机, 单声道)的一种典型设计方案。

一、应有的控制件和插座及其作用

在进行结构设计和外型设计之前先要确定整机的控制件和插座, 然而在最后确定外型时, 由于外型的美观需要, 要求增加或减少个别控制件或插座也是可能的。通常需要服从外型美观的要求。一般有下列控制件和插座(参阅图 1-3):

1. 录放开关($K_{1-1} \sim K_{1-5}$)

用来转换录音和放音工作状态, 由录音机机芯上的录音按键控制。图 1-3 中, $K_{1-1} \sim K_{1-5}$ 为放音状态, 可用单排六刀的录放开关。面板上无此控制件。

2. 工种选择开关(K_{2-1}, K_{2-2})

用来选择收音、磁带(放音和话筒录音)、线路输入和拾音几种不同的信号源(K_{2-1})和转换电源(K_{2-2})。图中, K_{2-1} 、