

 《无线电与电视》特辑

晶体管收音机

上海科学技术出版社

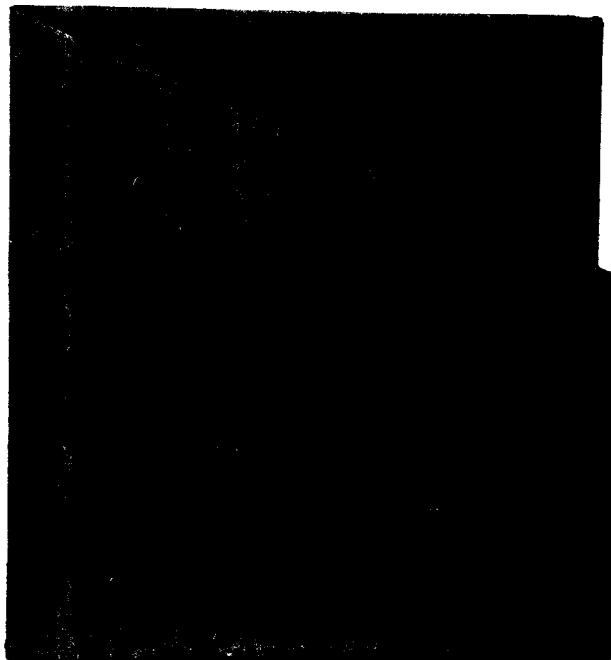
《无线电与电视》特辑

晶体管收音机

《无线电与电视》编辑部 编

上海科学技术出版社

期 限 表



《无线电与电视》特辑

晶体管收音机

《无线电与电视》编辑部编

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 江西印刷公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 17.75 字数 580,000

1981年11月第1版 1981年11月第1次印刷

书号: 15119·2182 定价: (科三)1.50元

T774.4/76

0215801

内 容 提 要

《晶体管收音机》是供从事收音机工作的技术人员与业余爱好者阅读的一本特辑，内容包括：收音机的总体设计、外型结构设计、电路基础和设计技术、新产品、新技术、元器件、仪器仪表及业余爱好者园地和图表资料等方面的文章计58篇。本特辑力求做到内容深入浅出，图文并茂，资料丰富实用，准确可靠。所有文章多系长期从事收音机设计制作工作同志的心得体会，是近年来收音机设计制作方面的一个反映。特辑各专栏自成体系，既可顺序参阅，亦可择需选读。

2045/2807

代 前 言

严 昀

电子技术的发展是从无线电通讯和无线电广播开始的，人们对电子技术的接触也是从无线电收音机开始的。直到现在，人们总是把无线电广播收音机简称为无线电（国内外都是如此），实际上无线电的含义远比收音机广泛得多。在四十年代末期出现了半导体器件，不久就出现了半导体管（晶体管）收音机，人们又简称它为半导体。对这含义截然不同的两者的同样称呼，也并非出于误解，而是说明了收音机与人们日常生活息息相关。正是以收音机为媒介，人们有机会更多地接触到无线电技术与半导体器件。

从整个电子技术来看，与电子计算机、半导体器件等分支相比，声音广播技术的发展是缓慢的。从1919年开始调幅广播到四十年代出现调频广播，经历了二十多年的漫长岁月；又经历了二十年的时间，直到1962年才出现了立体声调频广播。诚然，它的发展比较缓慢，但事实证明它又是不可取代的。随着现代人类社会活动的不断扩大和文化教育事业的普及提高，声音广播仍然具有强大的生命力和广阔的发展前途。

与无线电广播不可分割的广播收音机，在六十年代以前发展亦很缓慢，值得一提的只是从高放检波式转变成超外差式，和电子管式转变成半导体管式这两大转变。六十年代末期，由于人们对文化生活的需求日益增长，和电子技术其它分支的相互渗透，使收音机新的电路和程式大量涌现，并因此促进了品种的不断更新和性能的迅速提高。例如，盒式录音机的问世，促成了录音机和收音机的结合——收录机。电子钟的数字化显示和高准确性，以及集成电路的应用又促成了电子钟和收音机的结合——钟控收音机。并以此组成了多种多样的以收音机为中心的组合机，甚至把照相机、民用无线电话也组合到所谓三合一、四合一等等的组合机中去了。

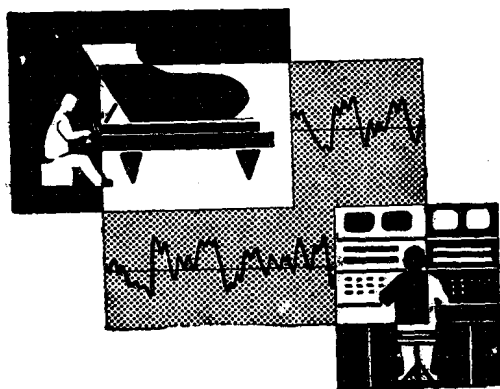
计算机的小型化是大家所熟知的，能放在上衣胸部口袋里的薄型计算器在国外已广泛流行。这是由于电池的微型化与液晶显示和大规模集成电路的耗电极省而促成的。据报道，由于采用了1.5mm厚的锂电池，使计算器的厚度仅为2.9mm。与此同时，也出现了薄型收音机。这种收音机采用钽-钴扬声器，不但带有调频波段，具有很好的音质，还可带有液晶时钟，已出现了薄型收音机、时钟和计算器的三合一，以及加上微型照相机的四合一。这种组合机中加入微处理器后，就能在预定时间选择波段、电台和节目，换算世界各地的时间，对微型照相机进行自动对焦和曝光等。

上述各种组合化、薄形化的收音机还是属于普及型的，而另一类高级收音机正向高保真度立体声、更优异的接收性能和更方便的使用方法方向发展。例如：采用锁相环频率合成器的全自动调谐选台和频率数字化显示，具有记忆功能的预置选台和各种方式的遥

等。这些功能的实现全有赖于大规模集成电路的广泛使用。这种高性能的调谐器配以立体声放音系统，立体声磁带录音机、立体声电唱机和高保真度组合扬声器箱就组成了所谓音乐中心。在欧美、日本等一些国家，这类音乐中心继彩色电视机之后，正和磁带录象机一起普及到家庭中去。

总之，近年来收音机的面貌已经发生了显著的变化，而目前国际上正蕴酿着单边带、立体声调幅等各种新体制广播电台的建立。可以预见，这又将进一步促使收音机电路和制式发生重大的新的变革。

我国近几年收音机的技术水平与生产水平都有迅速的提高。调频广播和立体声调频广播已在一些大城市开始试播，各种新型的收音机、收录机和组合机也相继试制成功，并投入生产。与此同时，收音机生产的工艺性和经济性也提高得很快，新材料、新器件和新工艺的采用，不但使收音机减轻了重量，缩小了体积，也使电声性能和可靠性得到了明显的改善。新型的装饰技术更使它面貌一新。集成电路也开始在新设计的收音机中使用，这将进一步简化收音机的装配与调试，降低生产成本。这一切都促成了生产能力的扩大和品种更新换代的加快。完全可以相信，我国的收音技术对全国人民文化生活的丰富提高和教育事业的深入发展，都将产生不可低估的影响。



目 录

1. 总体设计

- 1-1 红灯 783 特级立体声组合机的总体设计 高迺康 (1)
- 1-2 红灯 784 晶体管台式收音机的总体设计 唐桐林 (16)

2. 电路设计

- 2-1 收音机的输入回路 郭 鄂 (22)
- 2-2 电感调谐回路的统调 高广德 (26)
- 2-3 调幅高频头 赵国英 (28)
- 2-4 多回路中频放大器设计 曾淑琴 (36)
- 2-5 自动增益控制电路综合分析 高 巍 (44)
- 2-6 调频收音机的模式曲线设计法 高 闻 (52)
- 2-7 调频收音机电调谐高频头 贾沛圻 (58)
- 2-8 春雷 3T2 和 3P1 调频高频头设计 单锦星 (62)
- 2-9 陶瓷滤波器调频中频放大器 蒋久根 (69)
- 2-10 集成调频中频放大器 高 峻 (72)
- 2-11 二次变频收音机 盛荣棠 (78)
- 2-12 比例鉴频器的原理与设计 杨声昌 (84)
- 2-13 低频放大器前级的动态范围 高锦华 (90)
- 2-14 音调控制电路的基本原理 凌 良 (93)
- 2-15 并联供电 OTL 功率放大电路 孙海山 (99)
- 2-16 收音机设计中的声学问题 罗厚兹 (102)
- 2-17 印制线路板的布线原则和制作要点 金汉臣 (107)

3. 外型结构设计

- 3-1 收音机的外型设计 彭洪寿 (113)
- 3-2 海燕 T241 台式收音机外型设计 杨志滨 (115)
- 3-3 谈谈收音机的结构设计 上海无线电二厂 收音机结构组 (117)
- 3-4 收音机调谐机构 潘杰章 顾耀发 (123)
- 3-5 红灯 783 特级立体声组合机的结构设计 韩昌连 周月球 (129)
- 3-6 日本 ICF-5900 型便携式晶体管收音机结构与工艺分析 卢德法 (140)

4. 产品介绍

- 4-1 红灯 753 晶体管小台式收音机 陈宝珍 (151)
- 4-2 海燕 B351FM/AM 便携式收音机 何海林 (155)
- 4-3 海燕 T322 晶体管台式收音机 伍利威 (161)

- 4-4 葵花 DC-2A 型晶体管组合式多用机 徐志仁 (166)
- 4-5 红灯 745 型晶体管台式一级收音机 王恭行 (172)

5. 新 技 术

- 5-1 纵向场效应管 (V-FET) 功率放大器 梁乃端 (177)
- 5-2 全电子数字式钟控收音机 王长崧 (180)
- 5-3 集成化收音机 王福奎 (185)
- 5-4 立体声收音系统 高闻康 (186)
- 5-5 收音机的遥控装置 朱良贵 (197)
- 5-6 红外线遥控装置 陈白迪 (202)
- 5-7 红外传声设备 鲍均贤编译 (203)

6. 元 器 件

- 6-1 常用 FM/AM 中频变压器的结构参数及其分析 蔡培德 (204)
- 6-2 收音机用变压器简易计算和实际数据 俞富忠 边伟权 山兴家 (208)
- 6-3 2CC12~14 系列变容二极管及其应用 秦大固 (216)
- 6-4 2CB 型硅补偿二极管 张泰昌 (222)
- 6-5 LTB-10.7 MHz 型陶瓷滤波器 朱锡南 (223)
- 6-6 声表面波滤波器 王 敏 (226)
- 6-7 国外扬声器 陈孟津 (227)
- 6-8 国外电位器 储 昇 (231)
- 6-9 国外电容器 储 昇 (233)
- 6-10 国内外部分电子元器件水平对比 杨 益整理 (234)

7. 仪 器 仪 表

- 7-1 M·SW-2 收音机检测仪 傅德利 (237)
- 7-2 供生产流水线专用的扫频仪 上海无线电三厂 颜金祥 (248)
- 7-3 测试收音机“单信号哨叫比”用的带通滤波器 孙致孝 (255)

8. 业余爱好者园地

- 8-1 大口径低音扬声器的自制与维修 杨根源 (257)
- 8-2 收音机易损元件常见故障检修 林纬武 (262)
- 8-3 业余调试收音机 凌 善 (265)
- 8-4 实验 13W OTL 功率放大器 高 声 (267)
- 8-5 实验 50W×2 高保真度双声道立体声放大器 张立钧 (269)

9. 图 表 资 料

- 9-1 音频频段和听觉 陈安迪摘译 (274)
- 9-2 密闭式扬声器箱设计资料 陈安迪摘译 (274)
- 9-3 米波段划分和世界短波电台分布表 杨 益整理 (275)

1-1 红灯 783 特级立体声组合机的总体设计

高 邈 康

红灯 783 特级立体声组合机是具有收、唱、录、放等多种功能的立体声收音系统。其中,调频-调幅调谐器与双通道立体声放大器所构成的收音机,其技术性能达到特级机标准。

一、系统构成与方案拟制依据

为适应多种场合使用的要求,本组合机要有功能上的完整性与使用上的灵活性。这就是:既统一于一个完整的总体,实现高保真立体声收音,系统内均衡设计、相互协调,又需接收、唱、录、放功能分成相应独立的单机。根据系统误差理论,单机性能指标要高于系统,并实现单机性能的标准规格化,以便与本系统之外的他机匹配。总体结构为统一的整体又是独立的单机,构成组合落地式。集装时控制操作要简便,分机时控制按钮要齐全。

(一) 系统构成与用途特征

本组合机包括:调频-调幅调谐器;双声道立体声放大器;双声道立体声录音机;立体声唱机;高保真度扬声器箱(两只);集装落地机箱等单机。

本组合机的外形见图 1-1-1。

(二) 性能特点

1. 高保真度性能是本系统的关键 要逼真地再现节目原音固有的品质和细节,除信号噪声比、谐波畸变、频率响应特性三大传统技术指标外,还应特别注意系统的瞬态特性和动态范围等。

立体声性能是本系统的特征。要获得准确的声像定位,重放声场可展现为宽阔的声舞台,聆听时能产生临场感。除通道的相等度、同一性因数、通道分隔度等性能指标外,还应注意系统的相位畸变、声辐射指向特性等。

瞬态特性首先是降低瞬态互调畸变,采取提高供电电压的方法以扩大前级动态范围,避免多级间深度负反馈及滞后补偿等手段。

系统的动态范围要考虑两个因素:一要大于广播信号、录音磁带、唱片的动态范围。二要适应一般音乐、戏剧节目和语言的动态范围。无线电载波信号的调制度最大值取 100%,最大接收场强取 1V/m 。音频信号中以音乐与戏剧节目的动态范围为最大,取其为 $70\sim 80\text{dB}$ 。扩大系统动态范围可着眼于系统的上下两个阈值。下限阈值为系统的噪声电平,对本系统高频部分来说,其值与接收机灵敏度相关,取决于系统噪声系数和前级射频电路交、互调性能。而对本系统低频部分来说,此噪声电平要低于外来音频信号瞬态变化最小值或出现最微弱的信号时的电平。这个下限阈值的降低是受器件热噪声所局限的,其值达 -60dB 以下时,一般

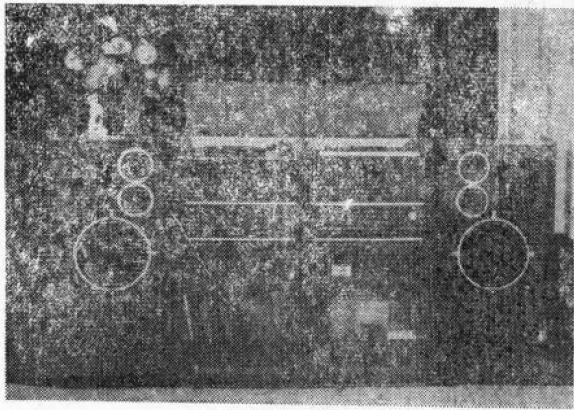


图 1-1-1 红灯 783 特级立体声组合机外形

非专业人员已察觉不到了。上限阈值是系统的输入过激励能力。在系统的高频部分,输入过激励能力包括强信号作用下的载波包络失真及多信号作用下的系统信噪比恶化,前者用强信号阻塞及 AGC 特性衡量,后者用假响应抑制及交、互调特性等衡量。在系统的低频部分,动态范围即为音频信号各输入部位(从接口处向后级看)过激励 dB 值与信噪比 dB 值之和,而实际声音节目的峰值因数比一般测试所用的简谐正弦信号峰值因数大 1.6~4 倍(即最大为 12dB),则希望系统的动态范围能达到 87~92dB,系统应按此分配各级过激励能力、信噪比及音量调节作用。

通道分隔度是体现本系统立体声效果的重要指标。按声强级型立体声声像定位理论,系统分隔度的最低指标不应劣于 20dB,以保证声像宽度能达到两组扬声器箱的位置。考虑到温度变化等影响系统分隔度的因素,本系统设计指标为不劣于 26dB。在接收机调频部分鉴频级前对立体声的和信号与差信号的振幅特性、相位特性有差异时,将会使解调后的两路输出信号出现振幅及相位畸变,限幅器虽能消除振幅差,但仍剩下相位差($\Delta\varphi$)会使分隔度变坏,其分隔度值为 $10\log \frac{1+\cos\Delta\varphi}{1-\cos\Delta\varphi}$,故要求

中放部分有良好的相位特性。同时,鉴频 S 曲线直线部分的频率范围应达到中频放大器带宽的两倍,后级通道间增益差应小于 1.5dB,以保证接收机的总分隔度不劣于 26dB。在立体声放大器部分、结构布局 and 电路走线、屏蔽隔离是影响分隔度的重要问题。本系统由于功能多,立体声放大器需与多种前级设备连接使用,其各信号输入接口和工作种类开关难免接线复杂,致使高频串音较难处理(高频 10kHz 时的分隔度理论容限值为 -14dB)。为此,需在放大器内使两路强弱信号远离,并注意使功率输出端布线尽量短,适当地采用对称的结构程式等。

系统内两路音频通道间的相位特性差异大时,不但会造成声像定位畸变,而且会出现声像漂移以致声像模糊的现象(因相位特性是频率的函数)。对频率为 200~2000 赫的立体声信号,人的听觉会依据其到达两耳的相位差来判断声源方位,而在以声强级差型检拾录制的立体声节目中不包含相位定位信息。所以,在设备中传输放大时,不应出现相位差异,其容值为 45°。对音频电路的设计要尽量少用 L、C 元件,不得不用时,两通道内所选用的对应元器件性能要尽量一致。测量通道间相位差可

用李沙育图形法。

其它频率响应特性、信噪比、谐波畸变三大指标要相应反映在各单机中,并相互兼顾。如本系统内立体声录音机的频率响应,目前可实现的水平约达 12kHz,调谐器调幅波段的频率响应约达 7kHz,则主放大器应设置截止频率为 12kHz 和 7kHz 的两个低通滤波器按键,以切除高频噪声,改善信噪比。同理,为适应扬声器系统的最低低频响应,并滤除外接设备可能引进的交流声及唱片不平时的调制声等,相应设置截止频率为 60Hz 和 90Hz 的两档高通滤波器按键。

2. 收音机接收性能是本系统适应性范围的关键调频和调幅波段均需提高抗干扰能力,以改善实际接收灵敏度(不只是考虑试验室内用单一信号测量的灵敏度)。高保真度设计重点在调频波段,应对静度*、调谐准确度、通道分隔度以及有利实现最佳接收的辅助电路设计加以注意。

接收频率范围问题,国外的高级调谐器一般只具有超短波调频波段或再增加一个调幅中波段,以接收近地高保真度广播为主,追求放声音质,多避免接收那些远地以天波方式传输的易受干扰的广播信号。同时,中波段灵敏度也设计得不甚高。但考虑到我国宾馆等接待外宾时,便于外宾收听国外广播的需要,本机决定具有短波段。但针对短波信号频谱拥挤,相互干扰严重,远距离天波传输场强起伏衰落变化大,电离层交调串调幅失真等,本机决定选择二次变频高中频的方案,以改善像频抑制能力等;采用多环路 AGC 控制的电路程式以减小偏调噪声和改善 AGC 控制能力;并具有中频通带宽窄带转换装置,以兼顾调幅接收时的抑制邻道干扰和高保真度性能。宽带大于 12kHz 以使调幅波段频率响应优于 6kHz,窄带 4~6kHz 以利于提高接收信噪比。立体声放大器部分也相应设置 7kHz 的低通滤波器,以便在收听调幅信号时接入,进一步抑制大功率收音时的高音频噪声。

短波段的频率范围选择与波段划分原则为:

(1) 本机主要收听的是广播节目,因此不必具有连续频谱,可只选择米波广播段频率,这有利于展阔度盘,便于选台与精确调谐。

(2) 所选米波段要考虑 24 小时内天波的衰落特点和顾及天电干扰严重的地区。

(3) 波段划分间隔要与第一中频相适应,并尽

* 静度是指调频收音机信噪比达到 50dB 时的天线输入端最小信号电平。

量简化设计以改进产品的生产性。

为此, 参照国际电信联盟的广播频率划分和我国情况, 选择了10个米波段。11m 和 120m 两个米波段内大功率广播电台较少, 节目不多, 故未选进。

将此10个米波段划分在四个波段内。

取: 90m、75m、60m

划为 SW_1 波段3.20~5.10MHz

49m、41m、31m

划为 SW_2 波段5.80~9.90MHz

25m、19m

划为 SW_3 波段11.60~15.60MHz

16m、13m

划为 SW_4 波段17.60~21.90MHz

这样划分的频率密度较均匀, 也有利于统调设计, 同时提供了 5.10~5.80MHz、9.90~11.60MHz、15.60~17.60MHz 三个空档, 可用于第一中频选择。

此外, 精确的调谐系统是重要的, 将在下节论及。

3. 系统不失真输出功率的选择 为适应一般聆听环境, 按室内得到正常响度 80~94dB 考虑, 距扬声器箱一米处的声压应达 $10\mu\text{bar}$ 以上, 估算扬声器系统的电声转换效率为 3~4%, 则本机功率每单路20W已足够用。但是, 考虑到半导体音响设备工作于饱和区时畸变会骤然猛增, 顾及到音乐节目瞬态可能有的特大巅峰值, 尤其是交响乐的低音频信号, 本机进一步留有 4dB 功率裕量, 即设计为每路不失真输出功率50W。

(三) 系统方框图设计

据上述各项要求设计本系统, 构成方框图如图 1-1-2 所示。

各单机相互匹配接口关系考虑如下:

1. 调谐器接收天线要适应多种场合使用 调频波段有外接 75 Ω 与集装箱落地柜内接 300 Ω 平衡天线两种。调幅波段除一般用外接短天线外, 另设 75 Ω 阻抗外接长天线端子以备接户外天线之需。

2. 调谐器音频输出分为线路与录音两端, 并各具左、右两路 线路端音量可调, 以便于与多种放大器连接放声。为在放声的同时可以录音, 增设一在 30% 调制度时(调频信号频偏 22.5 kHz, 调幅信号调幅度 30% 时)固定输出电平平均值为 0.1~0.2V 的录音端。当信号达 100% 调制时, 其最大输出电平为 0.6V, 可适应录音机线路输入端的过激励能力。

3. 双声道立体声放大器是各声源音频信号汇总的中枢 其前置放大器输入端灵敏度考虑到与调谐器输出、录音机输出及高阻抗压电拾音器匹配, 取为 100mV, 过激励能力应大于 26dB, 可使压电拾音器输出即使达到 2V 也不会出现过激励。均衡补偿放大器输入端灵敏度分为低阻唱机拾音器与优质低阻抗电容话筒, 输入灵敏度分别取为 0.4mV 与 3mV, 过激励能力应不劣于 26dB 与 36dB。

为转录前端各种声源节目, 并具有一定的修饰加工能力, 在前置放大器后设置两路线路输出端, 阻抗取为 600 Ω , 额定输出电平为 0.77V (0dB)。其间, 设置有音调控制、立体声平衡调节、前级音量控制及前级电平指示装置, 以便于调节监听耳机音量及控制前置不进入过激励状态。

后级主放大器具有后级音量控制及 VU 音量表, 便于调节与监看放大器输出功率。

图中各接口处所注阻抗值为前级输出阻抗。相应各后级输入阻抗应根据输入级噪声指数特性进行最佳信噪比匹配。

图中虚线部分为本机第二期变型产品的附加单

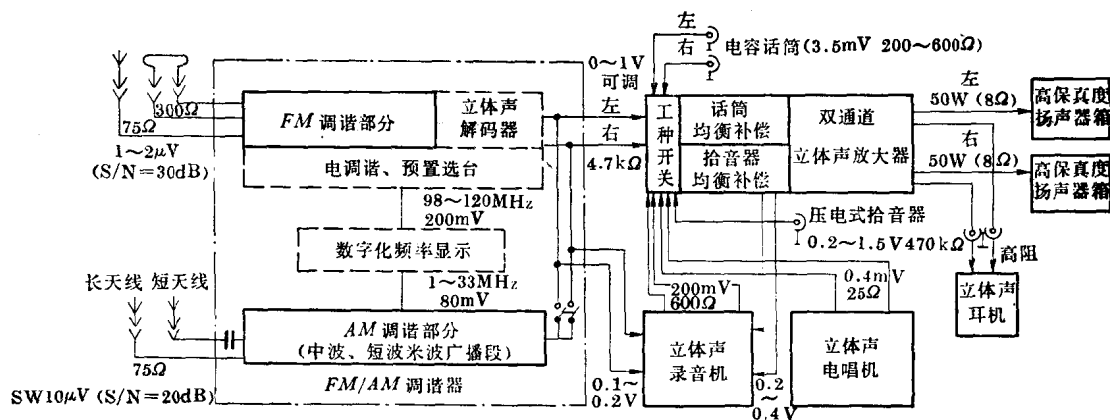


图 1-1-2 788组合机总体方框图。

元,在总体设计中统一考虑,简要说明如下:

(1) 立体声解码器 国内虽尚未选定立体声广播制式,但国外多数国家采用 Zenien-GE 制(属 FM-AM 制,一般习称为导频制),有关国际组织已推荐其为优选制式。且我国也仅有与此制式相应的调试仪器及可以试听的条件,故选择此制式设计。

按此制式可优选的解码器有两种电路方式。一为电子开关式电路。按此电路在二极管桥形连接检波后,宜配用差分放大器做左、右路输出级,以抵消串音分量;并需适当设计开关的时间常数;控制开关导通角,以便在分隔度和谐波失真之间均衡考虑。当取导通角为 70° 时,分隔度约达 30dB,谐波失真约为 1%。二为采用锁相环式集成电路解码器,因其副载波相位可与广播信号副载波精确同步,故其分隔度可达 40dB 以上,谐波失真可达 0.4% 以下,不失为优质解码器。两者相比,前者采用分列元件,不受器件牵制,后者性能优异,调试简便,但器件有待元件厂试制。本机方案先分列后集成化。

(2) 数字化频率显示 如调谐器调谐不精确,无论是调频还是调幅出现偏调,都会引起保真度、信噪比和抗干扰能力的下降。因此,没有精确的调谐装置,高保真度的设计可能在实用中成为一种徒劳。改善调谐准确度可供选择的新方案包括本机振荡器的频率合成器化和调谐频率的数字化显示等。显然,采用锁相技术的频率合成器可直接锁定在一定的频率间隔上,可快速精确调谐和便于实现自动调谐及遥控选台,不需人工监视其调谐准确性,是较优越的方案。但目前从产品经济效果考虑,暂不选用此方案,而采用后者数字化频率显示法。此法是在测得的本振频率中由解码器差去收音机中频,然后用荧光数码管显示出来,以代替频率度盘。设计取调频波段显示精度为 10 kHz,调幅波段为 1 kHz。

(3) 预置程序选台 这是简化调频调谐、实现象电视机一样可以键控选台以改进使用方法的措施,对常收听的电台可以先微调预置。这在电调谐的基础上实现并不困难,它是将来与电子钟配合以实现自动程序选台或遥控选台的基础。为改善交互调性能,调频头变容二极管采用背对背组态,配用国产集成电路手触开关,连续调谐时采用多圈式电位器调控制电压。

此外,信号场强显示和调谐指示是高保真度调谐器必备的装置。特别是用于立体声信号接收时,

调频天线应认真调节,以减少多径传输干扰及提高天线输入信噪比等,这要靠具有一定灵敏度与动态范围的场强表来指示。本机选用 $100\mu\text{A}$ 级灵敏度表头。

(四) 技术设计指标

本立体声收音系统的综合性指标是由各单机分别体现的,收、录、唱均有标准规范可引证。本系统由调谐器和放大器构成的收音机,其性能应不劣于部颁特级机标准,并可与国际先进水平相比。

除性能参数的客观测量外,还需特别注重对收音系统的听音评价,要求立体声声像定位清晰,音质真实、察觉不出明显的畸变。

为叙述明了和便于推论,以下将设计指标分述于各部分方案论证之中。

二、调谐器方案论证

(一) 设计指标

(1) 频率范围:

中波 525~1605kHz

短波 SW₁ 3.2~5.10MHz (90m、75m、60m)

SW₂ 5.9~9.80MHz (49m、41m、31m)

SW₃ 11.70~15.55MHz (25m、19m)

SW₄ 17.70~21.75MHz (16m、13m)

超短波 88~108MHz

(2) 中频:

AM $f_{IF}=10.7\pm 0.1\text{MHz}$

$f_{2IF}=465\pm 1\text{kHz}$ (窄带时)

FM $f_{IF}=10.7\pm 0.1\text{MHz}$

(3) 灵敏度:

AM $S/N=20\text{dB}$ $S/N=6\text{dB}$

MW $\leq 0.2\text{mV/m}$ $\leq 0.05\text{mV/m}$
(窄带时)

SW $\leq 10\mu\text{V}$ $\leq 2\mu\text{V}$ (窄带时)

FM $S/N=30\text{dB}$ $\leq 2\mu\text{V}$ (75Ω时)

信噪比 $S/N\geq 60\text{dB}$

(4) 选择性:

AM 单信号时 $\geq 60\text{dB}$ ($\pm 10\text{kHz}$)
(窄带时)

双信号时 $\geq 46\text{dB}$ (窄带时)

FM 单信号时 $\geq 60\text{dB}$ ($\pm 400\text{kHz}$)

双信号时 $\geq 50\text{dB}$ ($\pm 400\text{kHz}$)

(5) 通频带:

AM 宽窄带两档

宽带 $\geq 12\text{kHz}$ ($\pm 6\text{kHz}$)
窄带 $4 \sim 6\text{kHz}$ ($\pm 2 \sim 3\text{kHz}$)

FM $\geq 120\text{kHz}$

(6) 假象抑制:

MW $\geq 36\text{dB}$

SW $\geq 30\text{dB}$

FM $\geq 80\text{dB}$

(7) 中频抑制:

AM $\geq 50\text{dB}$ (二中频)

$\geq 40\text{dB}$ (一中频)

FM $\geq 80\text{dB}$

(8) AGC AM $\geq 60\text{dB}$

(9) 调频寄生调幅抑制 $\geq 30\text{dB}$

(10) 调频本机振荡辐射 $\leq 4\text{mV}$

(11) 调频俘获比 $\leq 2\text{dB}$

(12) 调频假响应抑制 $\geq 60\text{dB}$

(13) 频率响应:

AM $40 \sim 6000\text{Hz}$ (宽带时)

FM $40 \sim 15000\text{Hz}$

(14) 交流声级 不劣于 -60dB

(15) 自热频移:

AM: 开机 1 小时内, 本振频率漂移不大于 2kHz 。

测法: 测各短波段本振高端频率漂移。

(16) 调幅互调假响应: $\geq 20\text{dB}$

测法: 测试方框图同双信号选择性;

同时输入信号强度为 5mV 的干扰信号 f_1 、 f_2 , 频率选择为 $2f_1 - f_2 = f_s$ 或 $2f_2 - f_1 = f_s$, f_s 为各测量点上信号频率, 一般 f_1 、 f_2 选择点大于 $f_s \pm 20\text{kHz}$, 使其输出保持在标称输出电压, 然后去掉干扰信号, 输入有用信号, 在产生同样标称输出时, 其强度 $\leq 500\mu\text{V}$ 。

(17) 输出电压: $0 \sim 1\text{V}$ (可调, 阻抗为 $47\text{k}\Omega$)

录音输出 0.2V (阻抗 $47\text{k}\Omega$)

输出失真 $\leq 1 \sim 2\%$ 。

(二) 各部分接口关系

调谐器包括调频、调幅、低放和电源四部分。

为保证失真较小, 在灵敏度信号情况下到达调幅检波器的中频电压一般需 100mV 左右, 检波器衰减 20dB , 则调幅部分最小音频输出为 10mV 。为防止在调幅末级中放输入端信号过强引起失真和阻塞, 自动增益控制必须使送到末级中放输入端的电压有效值不超过 10mV 。考虑一般调幅末级中放采用单管电路增益可达 34dB (采用级联电路增益

则达 40dB 以上), 故 AGC 起控后, 检波输出将保持在 $50 \sim 90\text{mV}$ 左右。调制度达 90% 时, 调幅部分最大音频输出为 270mV 。调频部分由于限幅器作用, 其音频输出的最大值与最小值之比远小于调幅部分。鉴频器输出设计可取在调幅音频输出的最大值与最小值之间。兼顾后级接口, 取调频部分音频输出的最小值为 30mV (调制频偏 $\Delta f = 22.5\text{kHz}$), 则其在最大调制频偏 $\Delta f = 75\text{kHz}$ 时, 音频输出为 90mV 。调幅部分经 $1/3$ 分压后, 输出的最大值与最小值分别为 90mV 和 3.3mV , 这也是低放输入信号的上下阈值。

按调谐器与放大器的接口为 100mV , 则算得调谐器中低放部分的电压增益应为 $\frac{100\text{mV}}{3.3\text{mV}} \approx 30$ 倍, 可取 30dB 。并要求此放大器谐波失真 $\leq 0.5\%$, 频率响应为 $20 \sim 20000\text{Hz} \pm 1\text{dB}$, 信噪比优于 60dB 。立体声接收设置两路时, 分隔度应 $\geq 40\text{dB}$, 两路增益差 $\leq 0.5\text{dB}$ 。

调谐器中的直流供电电压最高值依据低放部分的动态范围考虑。设计中留 6dB 的余量, 则低放部分的最大输入音频信号可取其 200mV 。算得低放的最大输出 $E_{omax} = 30 \times 0.2\text{V} = 6\text{V}$, E_{omax} 与电源电压 V_{bb} 关系如图 1-1-3 所示:

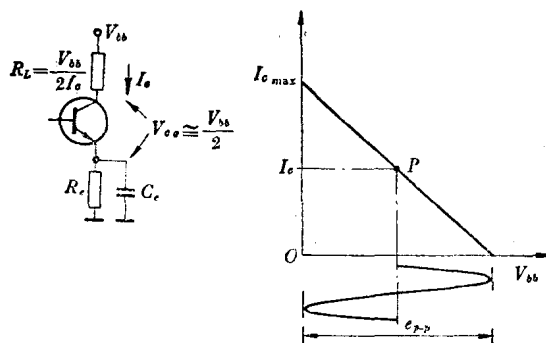


图 1-1-3 E_{omax} 和 V_{bb} 关系

$$E_{omax} = \frac{e_{p-p}}{2\sqrt{2}} \eta;$$

式中: η 是根据发射极阻抗 R_e 上电压损耗而定的电源电压利用率, 一般取值为 $0.7 \sim 0.8$; e_{p-p} 为输出最大峰值, 可取为 $e_{p-p} = V_{bb}$; 故:

$$V_{bb} \geq 2\sqrt{2} E_{omax} \frac{1}{\eta} = 2.828 \times 6 \times \frac{1}{0.8} \\ = 22\text{V}.$$

方案选择 24V 供电, 检波解调前各级供电按集成电路要求另置 12V 一档, 加上照明供电, 电源变压器功率估算为 20W 。

(三) 调频部分方案论证

本部分是系统内收音机高保真度接收的关键部位,按传统的设计方法论证方案和进行工程计算较为复杂,且难适应新型调频收音机设计要求,为此探讨和推证了“调频收音机的模式曲线设计法”以下简称“模式曲线法”。运用此法可根据设计指标先行绘出调频机所特有的输入、输出特性曲线,再根据曲线运用公式可计算出达到灵敏度、静度指标所需的前级噪声系数和增益分配,论证 AGC 起控电平和场强显示动态范围,推算出对静噪抑制器抑制能力的要求和限幅级的要求等。

1. 模式曲线的绘制 按给定的灵敏度指标为 $2\mu\text{V}$ 留有设计裕量,取为 $1.6\mu\text{V}$ (4dB),则可在图 1-1-4 横坐标上得到 E_s 点。根据“模式曲线法”理论推证,限幅灵敏度应设计为 $E_L = E_s - 6\text{dB} = -2\text{dB}$ ($0.8\mu\text{V}$),画得 E_s 点,并向上画得与纵坐标 -3dB 交点 L 即为接收机的限幅点。同理可得 C 点及 C' 点, C' 点表示收音机天线端输入给定灵敏度信号时的鉴频输出电平(定义为 0dB),则 C 点为噪声输出电平。

按给定的 $S/N \geq 60\text{dB}$ 可通过纵坐标 -60dB 点画水平线,部标测信噪比 S/N 时的输入信号电平高于灵敏度 E_s 40dB ,从此 40dB 处向上画垂线得交点 E ,即为考核测试信噪比时的输出噪声,为留有裕量和提高静度,将 E 点超前 -6dB 得到 D 点。连接 C 、 D ,用角尺测量 CD 线段斜率略小于 45° ,根据“模式曲线法”应取 C 点计算 F_N 。此法推论的灵敏度公式为:

$$E_s = \frac{\sqrt{3}}{24m_f \cdot m} \sqrt{R_A B F_N \alpha} \cdot \frac{E_{SO}}{E_{NO}}$$

式中已知: $E_s = 1.6\mu\text{V}$, 此时的信噪比 $\frac{E_{SO}}{E_{NO}} = 3$ (30dB);

$R_A = 75\Omega$ (天线阻抗);

B 为接收机带宽,按给定指标为 $120\text{kHz} = 0.12\text{MHz}$;

α 在去加重时间常数为 $50\mu\text{s}$ 时, $\alpha = 0.1$;

峰值调制系数 $m_f = \frac{\Delta f_m}{f_m} = \frac{75\text{kHz}}{15\text{kHz}} = 5$;

测试调制系数 $m = 0.3$;

则可算得:

$$1.6 = \frac{\sqrt{3} \times 31}{24 \times 5 \times 0.3} \sqrt{75 \times 0.12 \times 0.1 F_N}$$

$$F_N = 1.4 (1.5\text{dB}).$$

又门限电平公式为 $E_T = \sqrt{4KT R_A B \cdot F_N \cdot r_f}$.

已知:玻尔兹曼常数 $K = 1.36 \times 10^{-23}$ 焦耳/开氏温度;

天线等效噪声温度取为 293° (即 $t = 20^\circ\text{C}$);

门限功率载噪比 r_f 取为 2。

$$\begin{aligned} \text{则得: } E_T &= \sqrt{4 \times 1.36 \times 10^{-23} \times 293 \times 75} \\ &\quad \times 120 \times 10^3 \times 2.13 \times 2 \\ &= 0.76 (\mu\text{V}) = -2.8\text{dB}. \end{aligned}$$

这是表征对应于峰值调制系数 m_f 时的门限电平,即对应于最大频偏 $\Delta f_{mx} = 75\text{kHz}$,它与设计计算和测试灵敏度时所用的频偏 (30%调制度) $\Delta f = 22.5\text{kHz}$ 相应的门限电平有图 1-1-5 所示关系。查对此图得 $\Delta f = 22.5\text{kHz}$ 时,比上式计算值应小 5dB 左右,即为 -7.8dB ,依此可绘出门限点 B ,连接 C' 、 B 和 C 、 B ,绘制指数衰减曲线,并水平方向

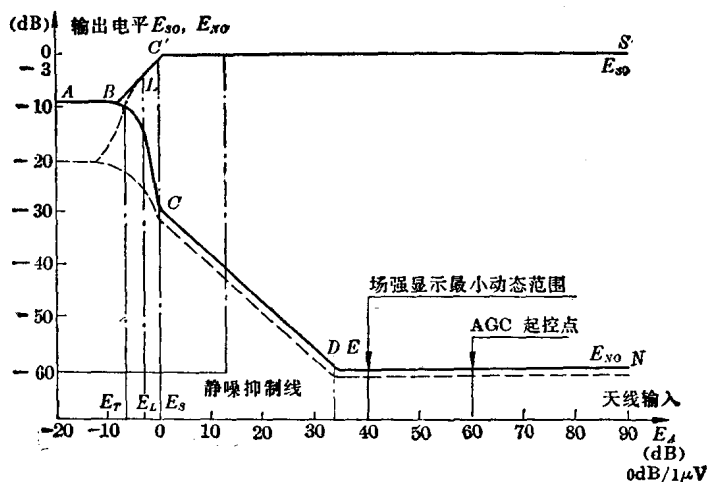


图 1-1-4 模式曲线与设计完成后的实测曲线

画出 AB 、 $C'S$ 、 DN 线段, 绘得模式曲线全图。

图示结论:

(1) 限幅灵敏度 $E_L = 0.8 \mu V$, 则可根据鉴频检波级最小音频输出 $30 mV$ 算得调频部分总的有效增益需 $92 dB$ 。

(2) 欲达到灵敏度 $E_S = 1 \mu V$, 按图算得的接收机噪声系数 F_N 需优于 2.13 。图示也表明了达到 $50 dB$ 信噪比的静度为 $23 dB$ ($14 \mu V$)。

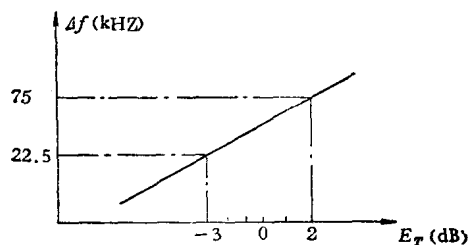


图 1-1-5 频偏与门限电平的关系

(3) 门限电平 $E_T = -7.8 dB$, 图示表明接收机无输入信号时输出噪声电平为 $-9 dB$, 本机鉴频级音频输出 $30 mV$ 为 $0 dB$, 则此噪声电平可达 $11 mV$ 左右。应选用静噪抑制电路, 并要求静噪抑制器的抑制能力大于 $50 - 9 = 41 dB$, 此处的 $50 dB$ 是根据当信号与噪声的峰峰比值达到 $46 dB$ 以上, 一般人可以忍耐的。

(4) 高放 AGC 起控点应选择在天线输入信号强度已使接收机进入最大信噪比以后。按图查得应高于 E 点, 即起控点应在 $E_{Ai} \geq 100 \mu V$ ($40 dB$) 以上, 且应高于场强显示动态范围, 以免接收机增益过早被控, 场强显示失去作用。为此, 结合本机调频头电路设计, 此起控点选择在 $E_{Ai} = 1 mV$ ($60 dB$) 处。

(5) 场强显示装置应在天线输入 $1 \sim 100 \mu V$ 间有与输入信号强度成比例的指示, 且希望呈对数显示特性。

(6) 要求限幅器以后各级的输出噪声小于 $-60 dB$ 。

2. 程式选择与增益分配 按“模式曲线性”理论, 实现上述预绘曲线的关键之一是限幅级的设计。而现代集成电路的发展为实现近于理想限幅特性提供了器件基础, 充分利用国产现有的集成电路进行设计是我们实现赶超国际先进水平的重要步骤。调频接收机在限幅级之前有与调幅机相同的传输特性。因此, 本方案首先考虑限幅器的选择。

(1) 限幅器的选择与限幅级前增益计算 本机选用国产集成电路 5G32 作为限幅器使用, 该电路前三级为差分放大器。其第三级输入 $100 mV$ 时

即进入双向限幅状态, 并不进入饱和区的硬限幅特性。它的输出电流与输入电压成双曲正切关系。由于解决了基区储存效应问题, 其限幅特性无时延效应。运用在 $10.7 MHz$ 时, 实验表明其电压增益约为 $40 \sim 50 dB$ 。从 5G32 输入端看的限幅灵敏度约为 $0.3 \sim 1 mV$, 按最低灵敏度考虑, 故

$$\begin{aligned} \text{限幅级前增益} &= \frac{1 mV}{E_L} = \frac{1000 \mu V}{0.5 \mu V} \\ &= 2000 (\text{倍}) = 63 dB. \end{aligned}$$

(2) 调频头的程式选择与增益分配 为获得优于 $80 dB$ 的假象抑制, 前级选择性选用四级调谐回路 (五连可变电容器或五对背对背组态的变容二极管)。高放有一或二级的两种程式可供选择, 但考虑到不使到达混频级前的干扰信号太强, 以改善交、互调等干扰性能, 除混频级选用双栅场效应管乘积混频器外, 在前级噪声系数可满足要求的前提下, 不希望前级增益过高。故选用了一级双栅场效应管高放的程式。MOS 场效应管的输入高阻抗特性即可使天线输入回路有近于 $0 dB$ 的增益, 又可提高输入回路的预选性。当按最佳噪声系数进行前级匹配设计时, 选用国产 4D01 双栅场效应管, 前级噪声系数可获得 $F_1 \leq 2 dB$ 的水平, 较好地兼顾了灵敏度与选择性, 其稳定增益约可达到 $K_P = 14 dB$, $K_V = 22 \sim 26 dB$ 。场效应管的平方律正向传输特性对高放级交、互调性能的改善, 可优于普通晶体管 $20 dB$ 以上。4D01 的第二栅作为 AGC 控制用。在 $V_{AGC} = 4 \sim 0 V$ 之间有近于遥控截止的控制特性, 且不会引起与第一栅相匹配的输入回路出现明显的失谐。

双栅场效应管作乘积混频器使用, 虽变频增益较低, $K_V = 0 dB$ 左右, 但其优异的交流、互调性能和抗堵塞能力是适合高级机采用的, 而且高本振注入电压时反向辐射很小。

在四级选择性回路分配方面, 为优先保证噪声系数达到设计要求, 选用一级输入回路。而高放与混频级之间配置三级电容耦合回路, 可使中间回路有最高的 Q 值, 其调频头方框图如图 1-1-6 所示。

(3) 中频级的滤波器选择与选择性分配 为获得接收机的高保真性能, 要求中频级总选择性有足够的带宽和通带内有近似恒定的时延特性。

理论上获得 1% 以下的谐波失真, 要求中频带宽应达到:

$$\begin{aligned} B &= 2(1 + m_i + \sqrt{m_i})f_{sm} \\ &= 2(1 + 5 + \sqrt{5}) \times 15 = 246 kHz. \end{aligned}$$

与此理论相应的带宽测试法应是频偏法, 这与现行的部标测试法及滤波器部件测试法有所差异, 只能通过实验选择带宽。初步试验结果表明, 按部标法测试时, $B=160\sim 180\text{kHz}$ 即可近似达到失真要

求。

为改善群延时特性, 本机选用了有近似草垛型顶的新型陶瓷滤波器和 LC 谐振回路相结合的办法。为满足选择性指标, 并留有裕量, 选择了三级

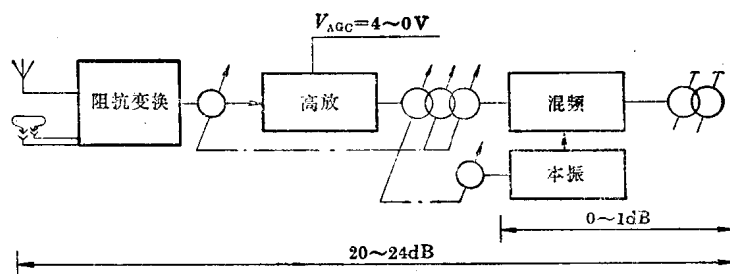


图 1-1-6 788 调频头方框图

陶瓷滤波器和混频负载双调谐电感耦合 LC 回路。

对每一级 3dB 衰减带宽的要求为:

$$\Delta f_{0.707} = \frac{B}{\sqrt{2^{\frac{1}{n}} - 1}} = \frac{160}{\sqrt{2^{\frac{1}{4}} - 1}} = 368\text{kHz}.$$

为使选择性优于 60dB, 要求每个滤波器选择性优于 20dB。

为获得优良的抗同频干扰性能, 俘获比 $\leq 2\text{dB}$, 有宽带法与多级窄带限幅法两种设计方法可供选择。但因得不到可满足窄带法带宽要求的滤波器, 本机选用了宽带法, 即将选择性适当向中频前级集中, 分配程式将在以后讨论。

(4) 中频增益分配与放大器的选择 由于晶体管放大器的集电极-基极电容随信号强弱而变化, 特别是在大信号作用下, 进入非线性区工作时更为严重, 从而引起与其相匹配的中频滤波器的失调, 故选用了无此缺点且增益稳定的集成差分放大器 5G33。该电路每级增益 $K_V=20\text{dB}$ 。

按前述方法计算。要求 5G32 限幅级前的增益

为 66dB, 而高频增益为 20dB, 则中频前级增益应为 $66-20=46\text{dB}$ 。

考虑到三级陶瓷滤波器的总插入损耗 $= 3 \times (-4\text{dB}) = -12\text{dB}$, 故选用三级 5G33 差分放大器。

(5) 鉴频电路的选择 在立体声收音机中, 因为副载波是在去加重电路之前分离的, 所以要求检波输出电路频带宽而阻抗低。5G32 后级为符合门检波器供电视伴音解调用。实验表明不适于 10.7 MHz 频率下大频偏高保真鉴频用, 故选择了 S 曲线线性较好、检波输出频带宽、阻抗低的比例鉴频器; 并改善电路设计, 要求 S 曲线中点 $\pm 300\text{kHz}$ 范围内有良好的线性。所以, 可以牺牲鉴频增益而由后级音频放大器补足。由此得出方框图如图 1-1-7 所示。

(6) 场强显示中频放大信号引出点的选择 按模式曲线查得的显示天线端信号电压范围在 $1\sim 100\mu\text{V}$ 以上。而三中放 5G33 进入限幅状态的天线端电压由上述方框图可算得为:

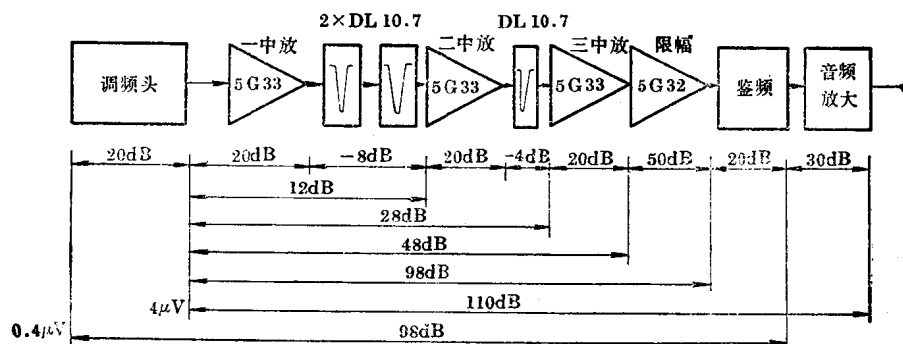


图 1-1-7 调频部分方框图与增益分配

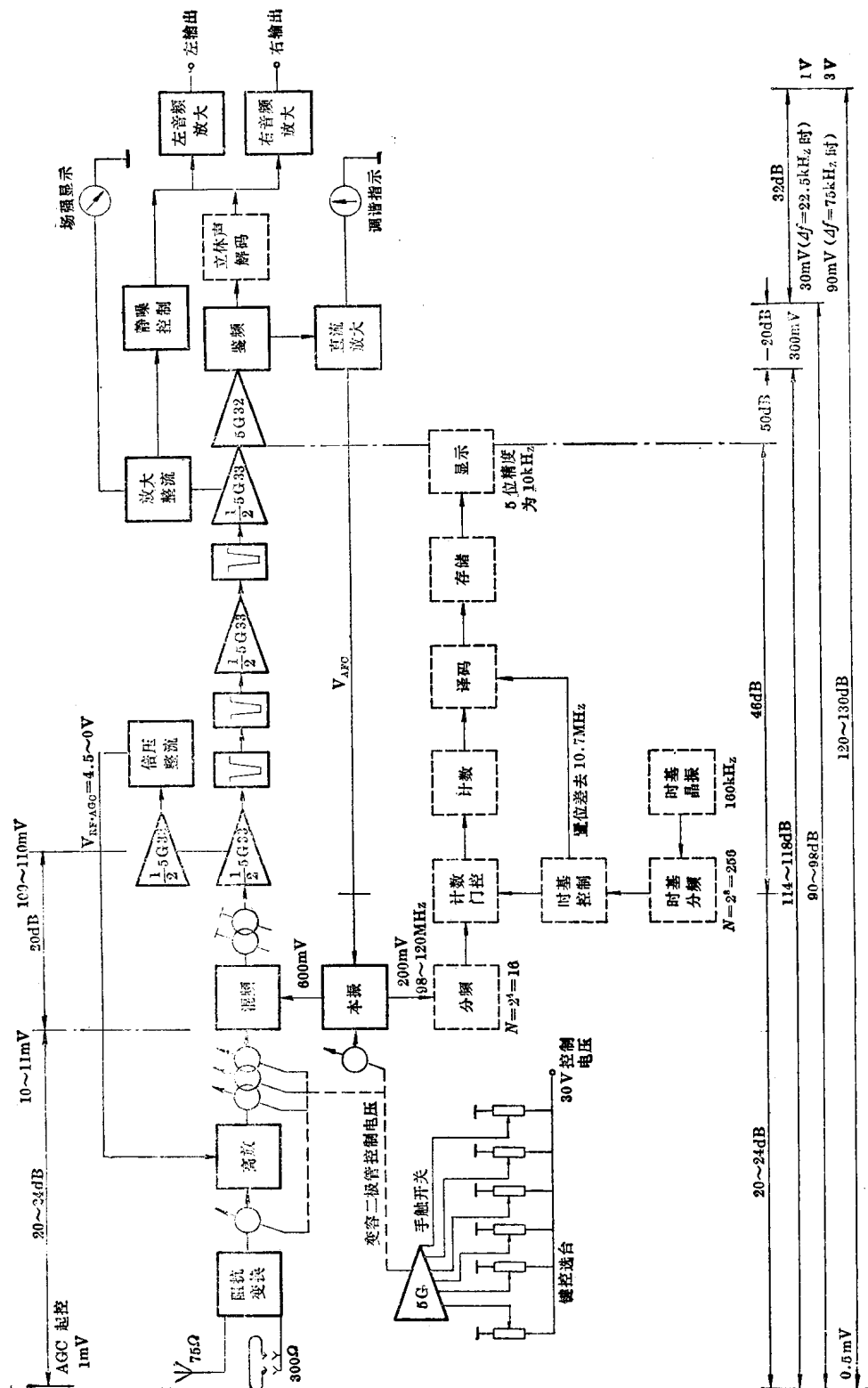


图 1-1-8 调谐器调频立体声接收方框图