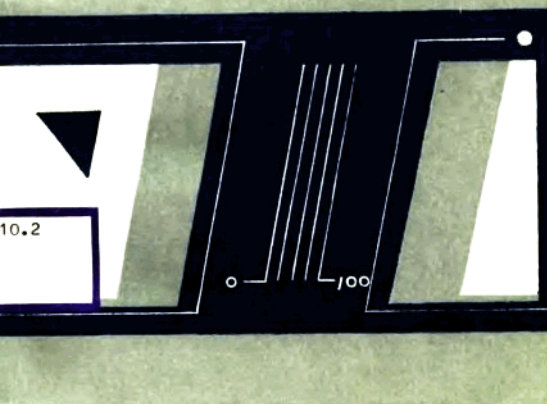


低频电子线路设计指南

● 肖华昌 编

● 华中理工大学出版社



10.2

0 100

内 容 提 要

本书是参照全国统编教材及最新国家标准编写而成的。它引导学生把课堂学得理论知识与实际结合起来,提高学生分析解决实际问题的能力,为今后的工作打下良好的基础。本书从基本的低频电子线路的设计方法入手,进而介绍了低频放大器各级的设计计算程序,以及整流、滤波和稳压电路的设计和选择。

本书可作为高等院校(包括夜大、电大、职工业大)电子、自控等专业的学生作低频电子线路课程设计时的教材,亦可供有关工程技术人员参考。

低频电子线路设计指南

肖华昌 编

责任编辑 朱 洪

华中理工大学出版社出版发行

(武昌喻家山)

新华书店湖北发行所经销

华中理工大学出版社沔阳印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 5.525 字数: 118,000

1983年3月第1版 1986年3月第1次印刷

印数: 1-3000

ISBN 7-5609-0123-9/TN·2

定价: 0.95 元

前 言

本书是在华中理工大学无线电技术专业编写的《低频电子线路课程设计指导书》讲义的基础上编写整理而成的，本书指导学生独立地完成设计题目的理论计算、绘制印制电路板、实验安装调试及整机指标的测试、整理设计说明书，使学生把课堂上学习的理论知识与实际紧密结合，这有利于提高学生的实验技能、分析问题和解决问题的能力。

本书可供高等院校（包括夜大、电大、职工业余大学等）无线电类、自动控制类等专业的学生作低频电子线路和模拟电子线路课程设计时的指导书和教学参考书。并可与张肃文主编的《低频电子线路》教材配合使用。亦可作为同类型的中等专业学校的师生以及有关工程技术人员参考。

在编写本书的过程中，得到我校校、系领导的关心和支持。张肃文教授审阅了全部初稿；罗辉映副教授审定全稿，他们在审稿期间，倍加辛劳，提出了许多宝贵的修改意见。在此一并致以衷心地感谢。

肖华昌

1987年2月于华中工学院

低频电子线路课程设计任务书

学生姓名 专业、班次

指导教师 教研室主任

一、设计题目

二、设计指示

1. 用途

2. 技术指标

输出功率

输出电压或负载电阻

输入电压

频率响应

非线性失真

空载输出电压稳定度

使用环境温度

其它特殊要求（如输入电阻，信号源内阻，噪声系数等）

3. 放大器供电电源

4. 辅助电路

三、设计任务

1. 拟定放大设备方框图、各级电原理图及整机电路图。

2. 完成放大器各级的详细计算，包括晶体管的选择、工作状态的计算及电路元件的计算。

3. 提出对供电电源的要求。

4. 其它特殊要求。

四、按设计指导书中有关的指示，将设计结果整理写成设

目 录

低频电子线路课程设计任务书	(I)
---------------	-----

第一章 低频电子线路设计方法	(1)
----------------	-----

§ 1.1 概述	(1)
----------	-----

§ 1.2 多级低频放大器(扩音机)的组成部分和 各部分的功能	(4)
------------------------------------	-----

§ 1.3 设计多级低频放大器(扩音机)的一般方 法	(7)
-------------------------------	-----

第二章 低频放大器各级的设计计算程序	(11)
--------------------	------

§ 2.1 功率放大级的设计计算	(11)
------------------	------

2.1-1 CE倒相式OTL乙类推挽功率放大器的设计计算	(11)
------------------------------	------

2.1-2 具有输出变压器耦合的乙类推挽功率放大器的设计计算	(22)
--------------------------------	------

2.1-3 低频集成功率放大器	(27)
-----------------	------

§ 2.2 推动级的设计计算	(31)
----------------	------

2.2-1 变压器耦合的单边电路的设计计算	(31)
-----------------------	------

2.2-2 CE倒相电路的设计计算	(37)
-------------------	------

§ 2.3 负反馈电路的设计计算	(42)
------------------	------

§ 2.4 乙类准互补对称推挽功率放大级的设计 计算	(47)
-------------------------------	------

§ 2.5 前置放大级的设计计算	(60)
------------------	------

2.5-1 前置放大器的选择原则	(60)
------------------	------

2.5-2	射极输出器的设计程序	(64)
2.5-3	共发射极单级放大器的设计程序	(67)
2.5-4	双管直接耦合放大器的设计程序	(69)
2.5-5	等化放大器	(74)
2.5-6	采用集成运算放大器的前置放大器	(79)
§ 2.6	控制电路	(83)
2.6-1	音调控制电路	(83)
2.6-2	音量控制电路	(90)
§ 2.7	整机特性指标的计算	(91)
第三章	整流、滤波及稳压电路的设计和选择	(92)
§ 3.1	整流、滤波电路的设计和选择	(92)
§ 3.2	直流稳压电路的设计	(108)
3.2-1	稳压管稳压电路的设计计算	(109)
3.2-2	串联式稳压器的设计计算	(112)
3.2-3	集成运算放大器的稳压电源, 集成化稳压电源及开关式 稳压电源	(122)
附录1	无线电制图的基本要求	(133)
附录2	常用半导体器件和模拟集成电路	(134)
附录3	电容器、电阻器及电位器的选用	(138)
附录4	印制电路板	(150)
附录5	音频变压器的设计程序	(166)
参考资料		(169)

第一章 低频电子线路 设计方法

§ 1.1 概 述

低频电子线路课程设计的基本任务是使学生在学《低频电子线路》课程的基础上，利用在课堂和实验中所学的知识，进行一次较全面、较系统的总结和灵活运用，正确地去解决某些工程技术问题，并使所学的理论与生产实际初步结合，以达到进一步巩固和提高的目的。

课程设计对学生来说，是作为工程师的第一次尝试，它要求学生依据课程设计任务书所给定的技术条件和设计任务，独立地完成电路的设计工作，同时结合实验安装调试，使学生掌握低频放大器单级特性及整级特性的测量方法，以培养学生分析问题和解决问题的能力。学生在开始设计之前，应事先掌握有关方面的技术动态和发展方向，并结合我国的具体情况加以引用。首先考虑采用何种技术方法才能达到设计题目所提出来的要求，然后依次进行方案选择和大量计算，当这些工作完毕之后才能作出最后的决定。学生在对整个设计方案及设计中的每一个技术细则作最后决定时，要充分运用他在这一学科领域内所具有的一切知识来考虑影响该决定的所有各种因素。做课程设计时，应该遵守现行的技术规范和标准，在设计中所要求

的准确度也要从实际出发（取决于设计原始资料的准确度及所给的技术要求）。

近年来，由于集成工艺的进一步发展，在提高电路性能，扩大功能范围和提高集成度等方面都有可喜的突破，可以预期，象数字集成电路一样，分立元件的模拟电路必将被不断地被模拟集成电路（即线性集成电路）所代替，线性集成电路种类繁多，其中集成运算放大器是应用最广泛的一种通用线性集成电路。目前，集成运算放大器已经成为象半导体管一样的基本器件，因此分立元件电路设计的传统观念被打破了，在许多场合下，只需要正确选用集成运算放大器即可达到我们所期待的电路性能，于是分立元件电路的设计工作就显得没有必要了。然而，在我国，由分立元件组成的电子设备仍然大量存在，在低频低噪声前置放大器中，分立器件仍占优势，尤其在大功率输出的场合中，功率放大器的设计也是必不可少的。因此，在电路设计方面，应以分立元件为基础，全集成化电路为目标，设计出体积小，性能优良的电子电路设备。

低频放大器在国民经济中的各个部门得到广泛的应用，尤其是在收录机、立体声放音系统、双频道扩音机和等响度扩音

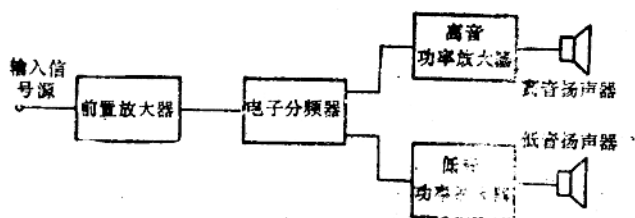


图1.1-1 双频道扩音机方框图

机^①等设备中，低频放大器更是必不可少。现扼要介绍如下。

实用双频道扩音机方框图如图 1.1-1 所示。采用双频道扩音机的原因，是由于音乐的频率范围很宽，如要无明显失真地重放交响乐，放声系统的频率范围至少不应窄于 $40 \sim 14000\text{Hz}$ 。但实际的扬声器，频率响应都没有这样宽阔，很难用单个扬声器去均匀地全部重放上述频带信号。因此，质量较高的扩音设备，通常把全频带的音响信号按频率的高低分隔成两个或多个频带，再分别送往相应的该频带专用的扬声器去重放，从而获得互调失真小，音域宽的良好音响效果。

立体声能把声源的位置反映出来，使人获得身临其境的感觉，从而得到更完美的艺术感受。但是立体声的节目信号要用立体声的扩音设备来重放，才能有立体声效果。而立体声的扩音机，几乎都是使用高保真扩音设备来保证声音重放质量的。在调频立体声广播中，要求两话筒距离声源 $3 \sim 14$ 米，两扬声器至少相距 1.8 米。

立体声扩音机方框图如图 1.1-2 所示

等响度扩音机指的是扩音机的音量无论开大 开 小，高、

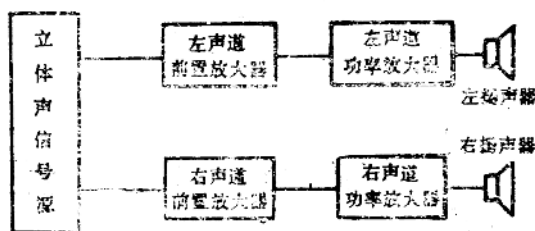


图 1.1-2 立体声扩音机方框图

① 由于篇幅限制，有关双频道扩音机、立体声扩音机及等响度扩音机等具体电路集锦及其工作原理分析，见参考资料(3)、(12)、(14)。

中、低音频率都具有相等的响度。它是专门为家庭欣赏音乐而设计的。它由电压跟随器、等响度控制电路、音调控制电路和功率放大器等四个部分组成。

由上可见，低频放大器仅在音响设备这个方面的应用就不胜枚举。它们的主体是扩音机。

§ 1.2 多级低频放大器（扩音机）

的组成部分和各部分的功能

一、扩音机的组成部分

扩音机是综合利用低频电子线路课程内容而制作的典型设备，是一种典型的多级低频放大器。用来放大音频信号，这种信号是由语言及音乐经过电声转换装置（如话筒等）而得到的，声音经扩音机放大后便能为更多的听众收听。现在我们选择一多级低频放大器（扩音机）作为设计内容，是因为通过它可以对低频电子线路中的低频放大器、电源等作较为全面和深入的设计训练。典型的晶体管扩音机方框图如图1.2-1所示。它主要是由以下四个部分组成的。即功率放大器、前置放大器、控制电路及电源等。

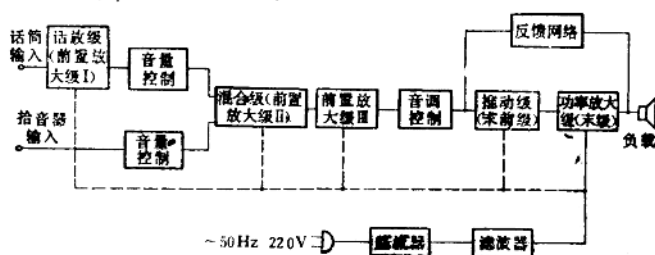


图1.2-1 典型的晶体管扩音机方框图

1. 功率放大器 通常包括功率放大级和推动级。

功率放大级的任务是使负载获得技术指标中所规定的输出功率。

推动级的任务是供给末级输入回路有足够的激励功率，以推动功率放大级工作。当末级输出功率较大时，它也是功率放大器；当末级输出功率较小时，它可以是前置放大器。

2. 前置放大器 它包括输入级（如话筒放大级）和中间级（如混合放大级），它的主要任务是尽可能地获得最大的功率增益。

当扩音机有两路或两路以上的输入信号时，混合级是必不可少的，它的作用是将不同的输入信号混合在一起，再送至以下各级进行放大。因此，为了分别对每一路信号进行控制，各路音量控制电路一般应放在混合级之前。

我们对混合级提出的要求最主要的是各路之间的相互影响要小，即当某一路音量改变时，其它各路音量的改变越小越好。

话筒放大级的作用是提高话筒的输出信号电压使之与拾音器输出信号电压在同一数量级，以便进行混合，以保证不同的输入信号具有同样大小的最大输出功率。通常，话筒的输出电压约为几毫伏，而拾音器的输出信号电压约为十分之几伏。因此，话放级应具有100倍左右的电压放大系数。

3. 控制电路 包括音量控制和音调控制电路。其中后者是用来改变放大器的频率特性的，目的是为了满足不同爱好或者是为了播送不同的音乐节目，用它来控制高音和低音输出的相对大小。

音调控制电路可以通过在级与级之间插入传输系数（即输出与输入之比）随频率而变的控制网络，或者在反馈电路中使反馈强弱随频率而变化等方法来实现。它一般有两种形式：衰

减式和负反馈式。通常使用的是由电阻与电容组成的线性无源四端网络。

4. 电源 它提供电子器件维持正常工作时所需的各种交流及直流电源。

二、对扩音机的基本要求^①

对扩音机提出的要求主要表现在“量”和“质”两个方面。所谓“量”，是指扩音机的扩音能力，它由扩音机所能输出的最大功率来决定，例如，在一、二千人的集会上所使用的扩音机大约应有20瓦以上的输出功率。所谓“质”是指扩音机的扩音效果，我们希望，信号在被放大的过程中所引起的失真及扩音机本身所产生的噪声能限制在一定的范围内，否则就会使语言的清晰度下降，使音乐走调等等。对音频信号而言，信号失真的大小是由频率失真及非线性失真决定的。

根据使用场合及用途的不同，对扩音机质量的要求也是不同的，例如，广播电台播音室的扩音设备允许的失真极小（非线性失真系数小于0.5%），而一般会场用的扩音机允许的失真就可大一些（非线性失真系数约为5%），另一方面，在评价某一具体设备时，应考虑到各个方面，例如，在非线性失真较大的情况下，频带宽的扩音机其扩音效果反而不如频带较窄的扩音机，因为后者能抑制高次谐波的通过。为此在设计时应注意以下各点：

1. 电路应力求简单。
2. 尽量使用价廉但又能满足要求的电子器件（晶体管、

^① 有关扩音机的技术要求和基本参数的测量方法，见中华人民共和国国家标准GB1982-80《声频功率放大器（扩音机）基本参数与一般技术要求》，GB 1983-80《声频功率放大器（扩音机）基本参数的测量方法》，技术标准出版社，1981年。

场效应管、集成运算放大器、电子管等)及元件(电阻及电容等)。

3. 凡是我国已经实行了标准化的元件(如电阻、电容等)均应优先采用,必要时不使用非标准元件。同时,还应结合市场及本单位的具体情况尽量利用现有的元件、材料。

4. 整个设备中电子器件与元件的种类、型号宜少,以减少备用的数量,也便于在损坏时换用。

§ 1.3 设计多级低频放大器

(扩音机)的一般方法

扩音机的设计是根据设计任务书给定的技术数据进行的,整个设计包括方框图的拟定、允许失真的分配及各级计算三个主要部分。现说明如下。

一、初步拟定方框图

图1.2-1所示的典型扩音机方框图的各个组成部分不是所有扩音机都具备的,它是根据设计任务书给定的设计指示确定的。一般地确定原则是:

1. 末级电路采用单边(即单管)或推挽电路由输出功率决定。对晶体管扩音机而言,毫无例外地,一般都优先选用推挽电路,当用于负载变动及远距离传输的场合中,选用输出变压器耦合推挽电路;当用于负载固定及近距离传输的场合中,则选用无变压器推挽电路。

2. 推动级选用功率放大器还是前置放大器应视末级所需要的激励功率决定。

3. 控制电路一般应置于中等信号级。因为在信号较弱时

进行控制，产生的噪声相对地较大。而放在强信号级进行控制时，一方面在控制电路中将引起较大的功率损耗，另一方面，前级由于信号太大容易引起过载。

4. 总的前置放大级级数应满足末级（或推动级）输入信号电压需要，并留有余地。

5. 反馈电路主要由允许的非线性失真来决定。由于放大器中引入负反馈后，虽然牺牲了一定数量的增益，但是却提高了增益的稳定性，展宽了通频带，减小了非线性失真和噪声，而且采用不同的反馈类型和反馈深度还可以改变放大器的输入电阻和输出电阻等。因此，在现代多级放大器中，都必须引入负反馈。它是实现高质量放大器的一种重要措施。

6. 整流稳压电源

功率放大器的直流电源一般由整流滤波后供给。前置放大器的直流电源可在上述整流滤波基础上加去耦滤波电路供给，或者在上述整流滤波基础上再进行稳压后供给。当末级输出功率较小（输出功率在3瓦左右或小于3瓦）时亦可用干电池供给（如手提式扩音机）。

应该指出，整流稳压电源的设计是在整机电路设计过程中的最后一步进行的。

二、允许失真值的粗略分配

设计指示中的频率响应（对低频放大器而言，主要指的是振幅频率特性）及非线性失真系数的大小均指的是整机的指标。因此，在各级的计算中，应使每级的频率响应及非线性失真系数都要优于整机的指标，然后在整机安装实验过程中调整，使整机指标达到要求。

对频率响应范围的考虑大致是这样的：在低频端，对每一级来说，都是用放大器在下限频率上变化的分贝数这个总指标

作为计算每级电抗元件的依据。若末级采用输出变压器耦合的话，则按在下限频率变化的分贝数来选择计算输出变压器的初级激磁电感 L ；若是阻容耦合电路，则按在下限频率变化的分贝数来计算耦合电容器和发射极旁路电容器 C ，然后将其电容量增大（3~10）倍来选择它们的电容量，为了计算上的方便，通常都是在上、下限频率变化3分贝的条件下去进行计算的。对高频响应而言，主要决定于晶体管的截止频率及电路中所接的防振电容，通常都是选择每级晶体管的截止频率远大于放大器的上限频率，通常约为10倍以上，使总指标达到要求。

对非线性失真系数的考虑是：由于多数放大器的前级都是处于小信号工作状态，它们引起的非线性失真可略去不计。放大器的非线性失真主要是由处于大信号工作下的功率放大级产生的，因此放大器的总的非线性失真系数直接作为计算功率放大器的指标。

由于负反馈能改善放大器的频率特性和非线性失真，因此通常都是从末级向前级引入二级或三级的负反馈电路。至于负反馈深度的大小是根据满足非线性失真的要求来确定的，这就是在进行末级计算时，放大器的总的非线性失真系数直接作为末级的指标的原因。

在实际工作中，频率失真和非线性失真的大小是否能满足预定指标的要求，除了考虑上述分配原则外，还必须在安装调试中进一步完成。若发现测试结果达不到指标要求时可根据改善频率响应及减少非线性失真的方法逐步加以解决，使其整机特性达到预定指标。

三、各级计算

扩音机的设计首先是初步拟定方框图及允许失真值的粗略分配，然后根据设计指示和允许失真值的粗略分配，按照方框

图，由末级向输入级，逐步完成各级的计算，先提出设计末级的原始数据，完成末级的设计计算。末级的设计计算完成后，提出设计推动级的原始数据，完成推动级的设计计算。大致按照上述的方法依次完成反馈电路直至输入级的设计计算，当低频放大器的各级设计完成后，根据各级对电源的要求，提出设计电源的原始数据，或者完成电源部分的设计计算、或者根据原始数据选用电源。最后，将设计计算的全过程加以整理，绘制整机原理图及开列电子元器件表格，以供安装、实验调整时参考，最后使实验调整的结果满足设计指示的要求。

在设计过程中，所有元件参数都要由我们自己通过计算确定。元件参数的计算值往往与国家标准中规定的元件参数值不同。因此，我们应根据具体情况选用与计算值接近的标称值，究竟选用较大的标称值还是选用较小的标称值应视具体情况而定，其原则是保证放大器有较好的特性指标。