



项目三

功率放大电路的组装与测试

【项目概述】

工业生产中，集成运算放大器广泛应用在控制测量领域中，如测量仪器、自动控制系统等。本项目以功率放大电路的组装与测试为载体，采取任务驱动法，开展集成运算放大器的认知、集成运算放大器线性电路分析、负反馈电路分析、音频功率放大电路的组装与调试等任务的学习。

集成运算放大器简称集成运放，把直接耦合的多级放大电路集成在微小的硅片上，是放大倍数很高的电路。集成运放电路中元器件密度高，引线短，外部接线大为减少，因而大大提高了电子电路的可靠性和灵活性，从而促进了电子技术的发展。如在温度检测与控制领域，首先要把被控的非电量用传感器转换为电信号，再与给定量比较，得到一个微弱的偏差信号，这个偏差信号的幅值和功率均不足以驱动显示机构或执行机构，需要把这个偏差信号放大到需要的程度，再驱动执行机构或送到仪表中显示，从而达到自动控制和测量的目的，而集成运算放大器就是最常用的放大元件。部分集成运算放大器外观图如图 3-1 所示。

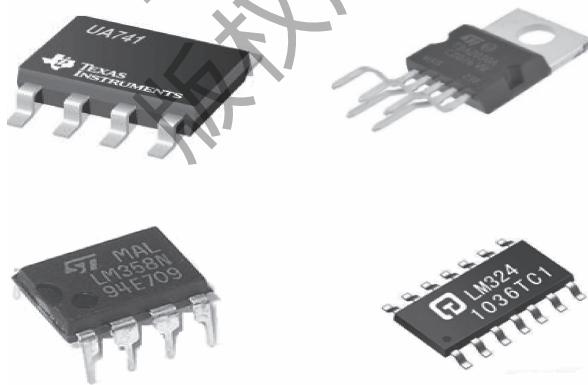


图 3-1 部分集成运算放大器外观图

【项目原理图】

本项目是功率放大电路的组装与测试，电路原理图如图 3-2 所示。

【电路主要参数】

输出功率，最高为 18W；供电电压为 DC9V ~ DC24V（推荐 DC12V）；该电路静态电流为 25mA 左右（未接音源，接 8Ω 扬声器，12V 供电）；扬声器阻抗为 4~8Ω。



学习笔记



微课3-1：
音频功率放大电路仿真。

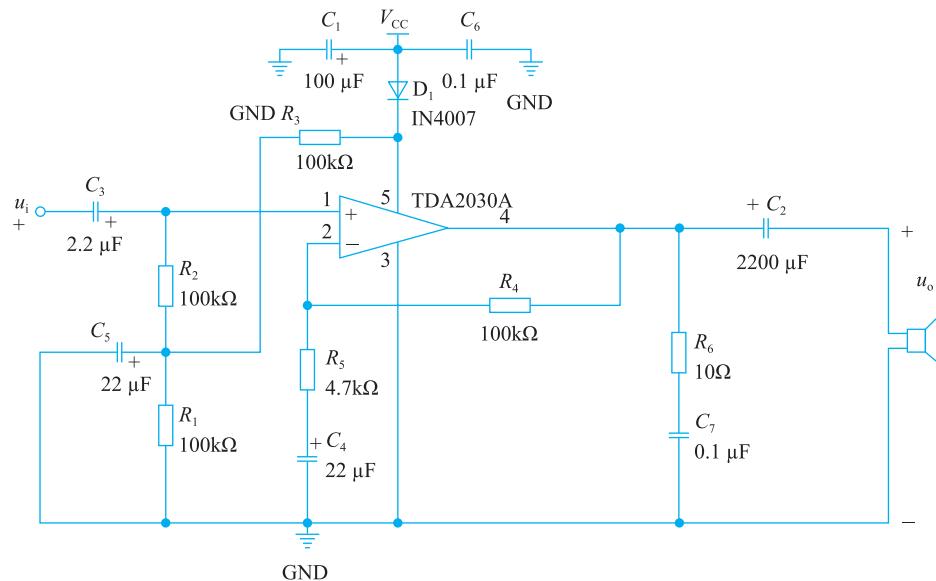


图 3-2 功率放大电路原理图

[电路制作要求]

电路布局合理，要求外围电路元件识别、安装正确；掌握 TDA2030A 的引脚功能，并正确安装；注意安全用电，正确使用电烙铁；注意电路焊接质量；焊接时功放级的接地线应尽量接在一起，连线尽可能短，同时功放级应尽量远离前置级；完成电路故障排除和电路调试。

【项目目标】

建议采取任务驱动法进行本项目学习，同时通过观看微课视频导学，引导与督促学生理解并掌握差动放大电路分析、集成运放电路分析、负反馈电路分析、电路组装与测试等；具备仿真电路分析、团体协作等基本能力，能分析几种常用的集成运放电路；通过仿真掌握电路设计的思路和方法，会组装和调试音频功率放大电路；拓展学习视野，提升主体意识，激发爱国情怀。

视野之窗：

我国集成电路发展历程。

1965 年—1978 年：以计算机和军工配套为目标，以开发逻辑电路为主的电子产品，初步建立集成电路工业基础及相关设备、仪器、材料的配套条件。

1978 年—1990 年：主要引进国外设备，改善集成电路装备水平，在“治散治乱”的同时，以消费类整机作为配套重点，较好地解决了彩电集成电路的国产化。

1990 年—2000 年：以 908 工程、909 工程为重点，以 CAD 为突破口，抓好科技攻关和北方科研开发基地的建设，为信息产业服务，集成电路行业取得了新的发展。

2020 年 8 月，国务院印发《新时期促进集成电路产业和软件产业高质量发展的若干政策》，从财税、投融资、研发、进出口、人才、知识产权、市场和国际合作等八个方面，提出 37 项举措支持两大新产业发展。



【项目分解】

学习笔记



任务1 电路组成与功能简介

[学习重点]：电路组成认知。

[学习难点]：电路的组成与功能。

[学习目标]：

- ①认识集成功率放大电路的组成，了解电路功能。
- ②能正确找出电路的核心元件，认识集成电路 TDA2030A。
- ③培养严谨正确的思维方式、核心意识。

视野之窗：

集成电路发展历程。



【任务引入】

日常生活中，集成运放被广泛应用在功率放大（简称功放）等领域。本任务是引导性质的学习任务，在本任务的引导下，学生应初步认识音频功率放大电路的基本组成，了解音频功率放大电路的工作原理，认识常用集成音频功率放大电路。

【任务导学】

- (1) 通过课前预习，了解集成功率放大电路的组成及作用，带着疑问，开始主动学习，把疑问记入“讨论焦点”。
- (2) 主动思考，理解本任务设置的目的。
- (3) 以小组为单位讨论电路的核心元件，查询相关资料，并完成任务学习与考核评价。
- (4) 汇总本任务的考核结果，作为课程学习考核的第十三个单元。

【知识链接】

一、集成音频功率放大电路的认知

[问题驱动]：

- ①集成音频功率放大电路的核心元件是什么？
- ② R_4 电阻连接在哪两个点之间？
- ③电路的外围元件你都认识了吗？

音频功率放大电路在手机、汽车电子、音响、计算机等需重现声音的设备中得到了广泛应用。集成音频功率放大电路的原理图如图 3-2 所示，核心元件为集成功率芯片 TDA2030A，常采用 V 型 5 脚单列直插式塑料封装结构。该集成电路广泛应用于汽车立体声收录音机、中功率音响等设备中，具有体积小、输出功率大、失真小等特点，并具有内部保护电路。TDA2030A 实物及引脚图如图 3-3 所示。TDA2030A 引脚功能表见表 3-1。



学习笔记



讨论焦点：

表 3-1 TDA2030A 引脚功能表

引脚	符号	功能	引脚	符号	功能
1	IN	同相输入端	4	OUT	输出
2	NF	反相输入端（负反馈）	5	V_{CC}	电源正极
3	V_{EE}/GND	电源负极 / 地			

集成功放芯片 TDA2030A 的输入信号从同相输入端输入时，输出端的放大信号与同相输入端的相位相同；信号从反相输入端输入时，输出端的放大信号与反相输入端的相位相反。5 脚和 3 脚分别与电源正负极相连，以提供能量。

二、电路功能简介

[问题驱动]：

- ①集成音频功率放大电路的基本功能是什么？
- ②如果在输入端、输出端分别接入示波器，二者波形会有什么区别？

集成音频功率放大电路是以集成功放电路 TDA2030A 为核心元件组成的功率放大器，具有失真小、外围元件少、装配简单、功率大、保真度高等特点。

图 3-2 所示电路中， D_1 为保护二极管， C_1 为滤波电容， C_6 为高频退耦电容；TDA2030A 是集成功放电路； R_1 、 R_2 、 R_3 、 C_5 构成 TDA2030A 输入端的偏置电路，由于本电路为单电源供电，TDA2030A 输入端直流电压为二分之一电源电压时电路才能正常工作； R_4 、 R_5 、 C_4 构成负反馈回路（后续讲解），改变 R_5 的大小可以改变反馈系数。 C_3 是输入耦合电容， C_2 是输出耦合电容；在电路接有感性负载扬声器时， R_6 、 C_7 可确保高频稳定性。

信号 u_i 通过 C_3 耦合（ C_3 的作用是隔直通交，隔离前级电路输出信号中的直流成分，只允许交流信号通过）到 TDA2030A 的正相输入端 1 脚（信号从正相输入端输入时，输出端的放大信号与正相输入端的相位相同），经 TDA2030A 组成的功率放大器（同相比例运算放大器）进行功率放大后，从 4 脚输出，再通过电容 C_2 （电容 C_2 的作用是隔直通交）耦合输出，驱动喇叭发声。

要想完全掌握该电路，还需要从集成运放的认知、差动放大电路分析、正比例电路分析、电路组装与测试等方面详细展开学习。

【任务实施与训练 1】



本任务的重点是引导性和认知性学习，完成对集成音频功放电路的整体认知。

- (1) 完成集成音频功放电路的认知。

学习笔记

集成音频功放电路的核心元件是_____，常采用_____塑料封装结构。其引脚功能分别是，1号_____，2号_____，3号_____，4号_____，5号_____。

(2) “讨论焦点”中的问题分析是该任务的重要环节，你有什么问题？



在学习过程中，“知识链接”是预习、释疑的引导性材料，“任务实施与训练”是学习的重要环节，以翻转课堂、理实一体化等不同方式开展学习。

(3) 该电路的功能是什么？

(4) 拓展视野，试查询相关资料，了解集成运放在汽车后窗玻璃自动去湿电路中的应用。

(5) 完成任务学习与考核评价。

【学习反思1】

以小组为单位进行学习反思。

在本任务的学习中，初步认识了集成音频功放电路，小组成员是否掌握了该电路的原理图？

你是否认识了电路中的核心元件和外围元件？能初步了解它们的作用吗？通过对电路的认识，是否增强了核心意识？

任务2 集成运算放大器的认知

[学习重点]：集成运放的组成框图、集成运放符号、集成运放传输特性、理想集成运放。

[学习难点]：集成运放的特性及工作参数。

[学习目标]：

①培养学生正确看待电子世界发展的思维，养成会学习的良好习惯，能将学习和科技发展相连通。

②能掌握集成运放的基本知识，会正确分析集成运放的传输特性。

③掌握集成运放的组成框图，掌握集成运放各部分的作用；掌握集成运放的传输特性及工作参数；掌握集成运放的电路符号及意义。

【任务引入】

集成电路是采用专门的制造工艺，将一个电路中所需的电阻、电容、二极管、三极管等元器件互连在一起，制作在一小块或几小块半导体晶片或介质基片上，然后封



学习笔记



以小组为单位讨论本任务的学习内容，规划学习过程。

装在一个管壳内，构成具有特定功能的器件。例如，手机和人们的生活越来越密切，因为使用了更多功能强大、微型化的集成电路，现在手机的功能越来越多，越来越强大，智能化水平越来越高，外形也越来越美观、轻巧。手机电路板如图 3-4 所示。

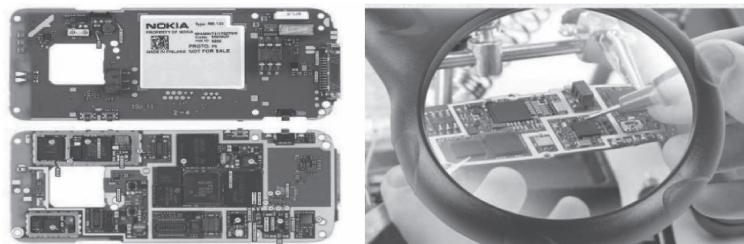


图 3-4 手机电路板

【任务导学】

以小组为单位查询、讨论集成电路技术与发展的相关材料，厘清发展集成电路的重要性。

- (1) 通过课前预习，了解集成运放的组成、主要参数等知识点，带着疑问，开始主动学习，把疑问记入“讨论焦点”。
- (2) 通过对知识链接的学习，掌握集成运放的外形、电路符号及参数，掌握 μ A741、LM358、LM324 等常用集成电路的功能，掌握集成运放的传输特性。
- (3) 积极参加翻转课堂，完成任务实施与训练，掌握集成运放的基本知识。
- (4) 完成任务学习与考核评价。
- (5) 从知识、技能、素质三方面进行学习反思。
- (6) 根据线上线下学习情况，结合每个小组的考核、教师的考核等，汇总本任务的考核结果，作为课程学习考核的第十四个单元。

【知识链接】

视野之窗：

1958 年出现了集成电路，第一片集成电路只有四个晶体管，1969 年出现大规模集成电路，1997 年集成电路技术进一步实现突破，一片集成电路中有 40 亿个晶体管，目前高端的芯片工艺是几纳米。

从产品层面看，目前我国集成电路产品覆盖全面，几乎在各个主要集成电路领域都不缺乏国内企业的参与，甚至在某些产品上，如模拟集成电路、存储器主控、蓝牙、人工智能芯片等细分领域，我国参与同一赛道竞争的集成电路企业接近百家。

一、集成运算放大器的外形和电路符号

[问题驱动]：

- ①集成运放外形分哪三类？
- ②集成运放的电路符号中有几个输入端？



③集成运放电路由哪几部分组成？

学习笔记

1. 集成运放的组成部分

集成运放是一种具有高增益、高输入电阻和低输出电阻的直接耦合放大器，广泛用于模拟信号的产生和处理电路之中。集成运放通常由四部分组成，即输入级、中间级、输出级和偏置电路，如图 3-5 所示。

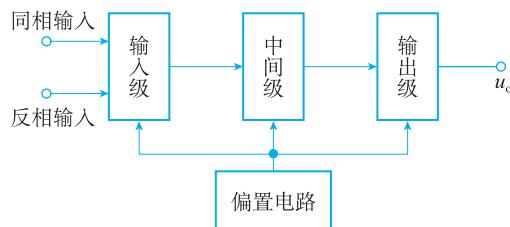


图 3-5 集成运放组成框图

为抑制零点漂移，集成运放的输入级采用差动放大电路。输入级是决定整个集成运放性能的最关键一级，不仅要求其零漂小，还要求其输入电阻高，输入电压范围大，并有较高的增益等；为了得到高放大倍数，中间级经常利用带有源负载的共发射极放大电路；为了提高带负载能力，输出级大多采用互补射极输出器组成的对称电路；偏置电路用来向各放大级提供合适的静态工作电流，决定各级静态工作点。在集成运放中，广泛采用镜像电流源电路作为各级的偏置电路。

2. 集成运放的外形

集成运放内部电路结构复杂，在具体应用中，集成运放可视为一个高增益、高输入电阻、低输出电阻的多级直接耦合放大器，其外形常见的有圆壳式、双列直插式、扁平式三种，如图 3-6 所示。



(a) 圆壳式 (b) 双列直插式 (c) 扁平式

图 3-6 集成运放外形图

3. 集成运放的电路符号

集成运放的外形虽不同，其电路符号通常如图 3-7 所示。它有同相端和反相端两个输入端，同相端标为“+”，其信号极性与输出信号相同；反相端标为“-”，其信号极性与输出信号相反。“ $\triangleright \infty$ ”表示放大器的传输方向，“ ∞ ”表示额定开环增益极高。

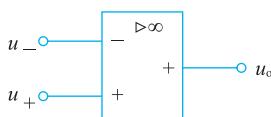


图 3-7 集成运放的电路符号



学习笔记



讨论焦点:

4. 集成运放的主要参数

集成运放与其他电子器件一样，需要对其静态和动态的性能参数进行研究，其性能指标主要有开环差模电压放大倍数、共模抑制比、差模输入电阻、输出电阻等。

1) 开环差模电压放大倍数 A_{ud}

集成运放在无外加反馈回路的情况下输出电压与输入差模信号电压之比，即为开环差模电压放大倍数（又称开环差模电压增益），常用 A_{ud} 表示。对于集成运放而言， A_{ud} 很大，且稳定。目前高增益集成运放的 A_{ud} 可高达 140dB (10^7 倍)，通常认为理想的集成运放的 A_{ud} 为无穷大。

2) 最大输出电压 U_{op-p}

最大输出电压是指在一定的电压下，集成运放的最大不失真输出电压的峰-峰值。例如，F007 电源电压为 $\pm 15\text{V}$ 时的最大输出电压为 $\pm 10\text{V}$ 。

3) 差模输入电阻 r_{id}

r_{id} 的大小反映了集成运放输入端向差模输入信号源索取电流的大小。要求 r_{id} 越大越好，一般集成运放 r_{id} 为几百千欧至几兆欧，故输入级常采用场效应管来提高输入电阻 r_{id} 。例如，F007 的 $r_{id}=2\text{M}\Omega$ 。通常认为理想的集成运放的 r_{id} 为无穷大。

4) 输出电阻 r_o

r_o 的大小反映了集成运放在小信号输出时的负载能力。有时只用最大输出电流 I_{omax} 表示它的极限负载能力。通常认为理想的集成运放的 r_o 为零。

5) 共模抑制比 K_{CMR}

共模抑制比反映了集成运放对共模信号的抑制能力，其定义同差动放大电路。 K_{CMR} 越大越好，通常认为理想的集成运放的 K_{CMR} 为无穷大。

6) 最大差模输入电压 U_{idmax}

其指集成运放两输入端所能承受的最大电压值。超过该值，集成运放的性能显著恶化，甚至永久性损坏，如 F007 的最大差模输入电压为 $\pm 30\text{V}$ 。

7) 最大共模输入电压 U_{icmax}

输入端共模信号超过一定数值（该数值即最大共模输入电压 U_{icmax} ）后，集成运放工作不正常，失去差模放大能力。例如，F007 的 U_{icmax} 值为 $\pm 13\text{V}$ 。

8) 输入失调电压 U_{io}

该电压是指为了使输出电压为零而在输入端加的补偿电压（去掉外接调零电位器），它的大小反映了电路的不对称程度和调零的难易。对集成运放，要求输入信号为零时，输出也为零，但实际上往往输出不为零，将此电压折合到集成运放的输入端，常称为输入失调电压 U_{io} 。其值的范围为 $1\sim 10\text{mV}$ ，要求越小越好。

集成运放指标的含义只有结合具体的应用才能正确体会。集成运放的指标较多，其他指标请查阅相关资料。

二、常用集成运算放大器电路介绍

[问题驱动]:

- ①认识 μA741 实物后，是否掌握它的功能？
- ②LM358 运算放大器的作用是什么？

