

第三章 多级放大电路及集成运放

掌握：

- 1) 多级放大电路的耦合方式
- 2) 多级放大电路的分析方法
- 3) 差分放大电路的结构、性能和分析
- 4) 了解互补输出电路的原理

一、耦合方式

通过将基本放大电路进行级联可以得到多级放大电路。为什么要使用多级放大电路？有什么好处？

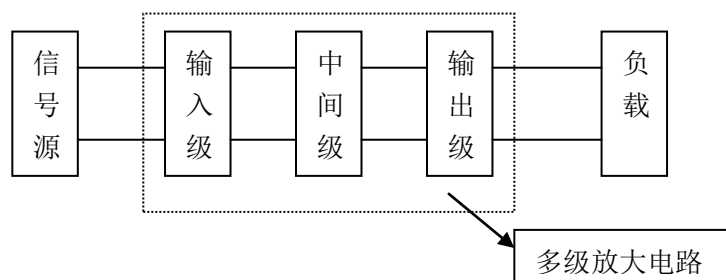
有四种耦合方式：

- 直接耦合（直接耦合会产生什么问题？怎么解决？）
- 阻容耦合。通过电容进行连接。有什么好处？
- 变压器耦合（通过变压器进行连接）。优缺点？
- 光电耦合

什么是零点漂移？

二、多级放大电路的分析

1) 系统组成



输入级通常会采用什么放大电路？为什么？（差分放大电路）

中间级会采用什么放大电路？（CE 组态放大电路，利用恒流源做有源负载）

输出级会采用什么电路？（互补输出放大电路）

2) 多级放大电路的分析

多级放大电路是由基本放大电路进行级联得到，因此最好的分析方法是利用单级放大电路的知识来分析多级放大电路。

分析过程：

- 明确放大电路的级数；
- 明确放大电路的耦合方式（关系到静态工作点的分析）
- 明确各级放大电路的组态
- 利用多级性能跟单级性能之间的关系得到结果

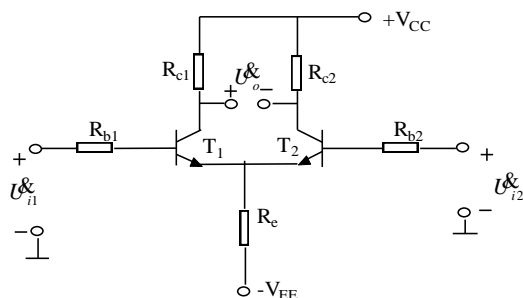
直流分析：如果是阻容耦合，则可以每级独立分析，得到各级静态工作点（具体分析同第二章单级放大电路的直流分析）；如果是直接耦合，则需要建立联立方程进行求解（比较复杂）

交流分析：

放大倍数：
$$A_u = \prod_{i=1}^n A_{u_i}$$
 如何计算各级放大倍数？？？（需要考虑后级的负载效应）

三、差分放大电路

1、结构（怎么构成差分放大电路？）



2、输入输出方式

1) 四种输入、输出方式

- 双端输入、双端输出
- 双端输入、单端输出
- 单端输入、双端输出
- 单端输入、单端输出

四种输入、输出方式的不同

2) 特性 (特性跟输入输出方式相关)

- 直流特性
- 共模特性
- 差模特性

什么是共模、什么是差模？为什么要分共模和差模

3、分析

三个分析：直流分析、共模分析和差模分析。

双端输出：

- 零输入、零输出；如何分析得到静态工作点？？？
- 共模特性（完全抑制共模信号）
如何分析共模性能？（即如何得到共模通路？为什么？）
 $A_{uc}=0$ ； K_{CMR} 为无穷大；
- 差模特性（对差模信号有放大作用）
如何分析差模性能？（即如何得到差模通路？为什么？）

$u_o = A_{ud} \cdot (u_{i1} - u_{i2})$ 在双端输出时，只有两个输入端之间有差值信号，差分放大器才会有信号输出。

单端输出：

- 零输入、非零输出；如何分析得到静态工作点？？？
- 共模特性
如何分析共模性能？（即如何得到共模通路？为什么？）
 A_{uc} 不为 0； K_{CMR} 为有限值；
- 差模特性（对差模信号有放大作用）
如何分析差模性能？（即如何得到差模通路？为什么？）

$$u_o = A_{ud} \cdot (u_{i1} - u_{i2}) + A_{uc} \cdot \left(\frac{u_{i1} + u_{i2}}{2} \right)$$

单端输出与双端输出相比，在性能上有什么样的变化？

4、共模抑制比

什么是共模抑制比？怎么改善共模抑制比？

5、横流源偏置的差分放大电路

为什么要采用横流源偏置？利用横流源的什么特点来达到目的？

如何来分析横流源差分放大电路？

6、了解互补输出电路的工作原理，为什么会产生交越失真？如何消除？

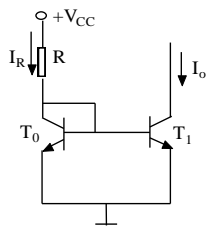
集成运放

掌握：

- 1) 电流源电路
- 2) 集成运放的内部结构框图
- 3) 集成运放的外部特性、参数及简化等效电路
- 4) 了解集成运放的种类和使用

一、电流源电路（镜像电流源）

1、镜像电流源的结构（为什么可以实现恒流源的功能？？）



2、三种电流源

- 基本镜像电流源

结构？

电流关系： I_o 近似等于 I_R 。什么是近似？ $I_R=?$ 那么又如何来提高这个精度？

- 比例电流源

电路结构？电流关系？条件？

- 微电流源

结构？输出电流？

- 多路电流源电路

3、电流源的应用

可以作为放大电路的有源负载。（什么是有源负载？有什么好处？）

主要利用电流源的什么特点？

二、集成运放

在本章中，只是来认识什么是集成运放，不涉及集成运放搭建的电路。集成运放是直接耦合的多级放大电路，主要实现高增益的电压放大。

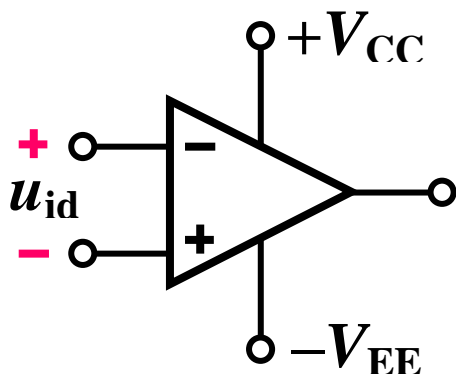
1、内部结构图

四部分组成：输入级电路、中间级电路、输出级电路、偏置电路。

- 输入级电路：差分放大电路（为什么？）
- 中间级电路：以电流源作为有源负载的 CE 组态放大电路
- 输入级电路：互补输出电路（有什么特点？）
- 偏置电路：恒流源电路

2、外部结构图

电路符号



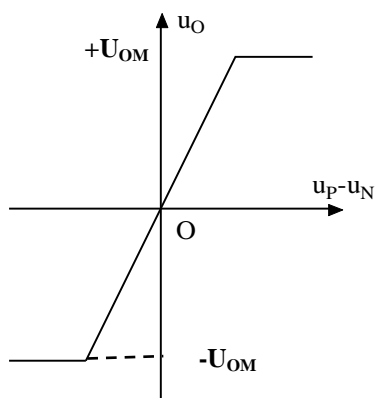
两个输入端： U_p 和 U_n 。（分别称为同相端和反向端，为什么？）；
一个输出端；
双电源供电

3、端口特性（电压传输特性）

对于集成运放，我们不需要太了解他的内部具体实现，我们只要知道他的端口特性就可以，即只要知道他的输入和输出之间的关系就可以，我们可以把它作为一个基本器件来使用，虽然他并不是真正意义上的基本器件。因为是电压放大器，所以需要了解输入电压和输入电压的关系，即它的电压传输特性。因为输入级为差分放大电路，他对共模信号有很强的抑制作用，所以我们主要关心它的**差模电压传输特性**。即： $U_o \sim U_{id}$ 的关系。 **$U_o = f(U_p - U_n)$**

集成运放特点：高增益、高输入电阻、低输出电阻

U_{om} 称为集成运放的饱和电压， $+U_{om}$ 通常比 $+V_{cc}$ 略小， $-U_{om}$ 通常比 $-V_{ee}$ 略大



- 1、当 $|U_p - U_n|$ 非常小时， $U_o = A_{od}(U_p - U_n)$ ，实现线性放大；既曲线的中间部分，该斜线的斜率就是 A_{od} ，定义为集成运放的开环差模增益。该值通常非常大。这部分区域称为**线性区或放大区**
- 2、当 $|U_p - U_n|$ 大于某个值后， $U_o = \pm U_{om}$ ，饱和输出。即不管输入信号多大，输出始终为 $\pm U_{om}$ 大小，所以称为**饱和区或限幅区**。

什么时候集成运放会达到饱和输出？（只要某个输入信号通过集成运放放大后的输出信号幅度达到饱和电压，那么此时集成运放就进入饱和区）。

线性区： $|U_p - U_n| < U_{om}/A_{od}$ ；**由于 A_{od} 通常非常大，所以线性区非常小。**

4、集成运放的参数

- 差模参数
- 共模参数
- 直流参数
- 频率参数

需要清楚每个参数的定义。比如差模输入电阻和共模输入电阻就有不同的定义方式。