



电子线路设计、测试与实验

Sep, 2024

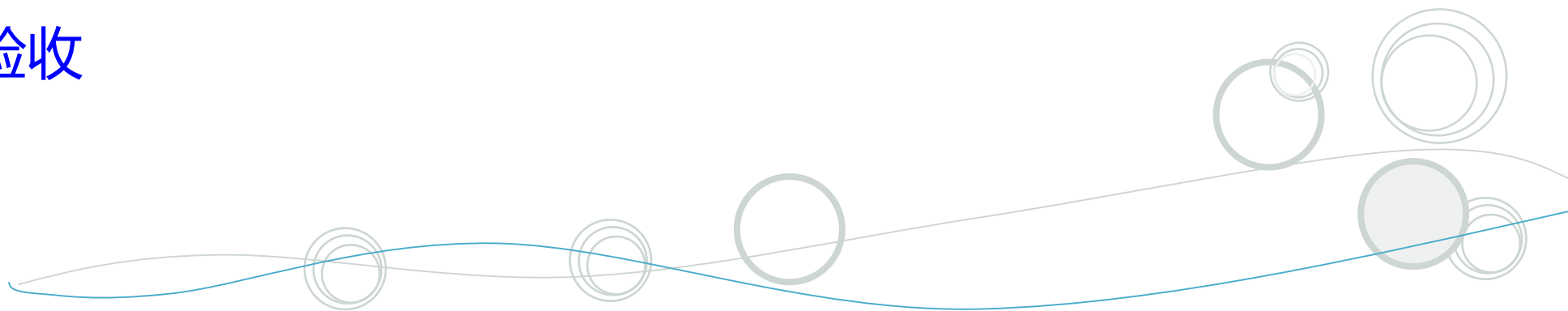
音响放大器设计与调试

杨明
华中科技大学电子信息与通信学院
myang@hust.edu.cn



Agenda

- ▶ 实验目的
- ▶ 设计任务
- ▶ 工作原理
- ▶ 设计举例
- ▶ 安装调试
- ▶ 测试验收



一、实验目的

- ▶ 了解集成功率放大器内部电路工作原理
- ▶ 掌握其外围电路的设计与主要性能参数的测试方法
- ▶ 掌握音响放大器的设计与电子线路系统的装调技术



二、设计任务 (P242)

► 功能要求：

- 具有话音放大、音量控制、功放功能

► 已知条件：

- 集成功放LM386
- 高阻话筒20k Ω ，输出信号5mV
- 集成运放NE5532/LM324/ua741
- 10 Ω /2W负载电阻1只
- 8 Ω /4W扬声器1只
- 音源 (MP3 or PC)
- 电源电压 $\pm 9V$



二、设计任务 (P242)

► 技术指标要求：

- 额定功率： $P_o \geq 0.3W$ ($\gamma < 3\%$)
- 负载阻抗： $R_L = 10\Omega$
- 频率响应： $f_L = 50Hz$, $f_H = 20kHz$
- 输入阻抗： $R_i \gg 20k\Omega$

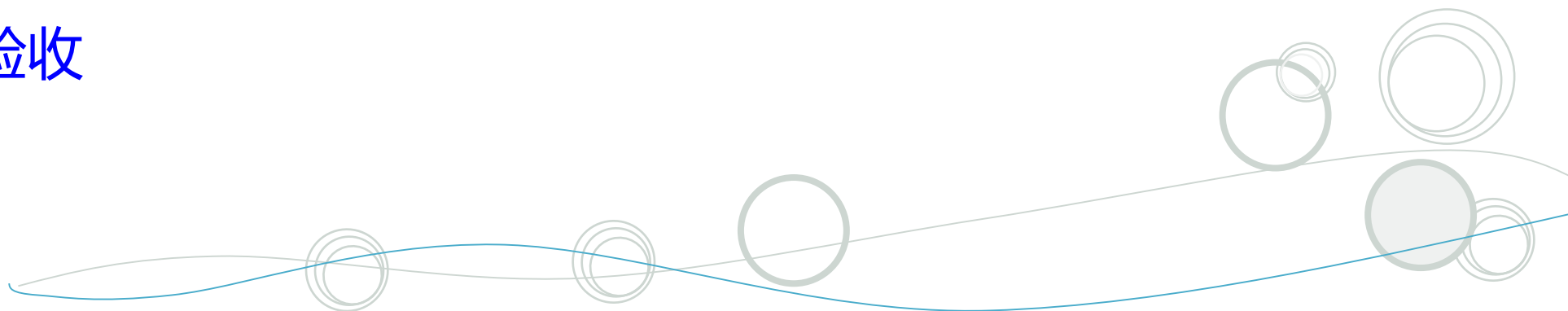
► 测量内容：

- 测量频率为1kHz时的输出功率 P_o 、各单元电路电压增益 A_v 及整机电压增益 A_v



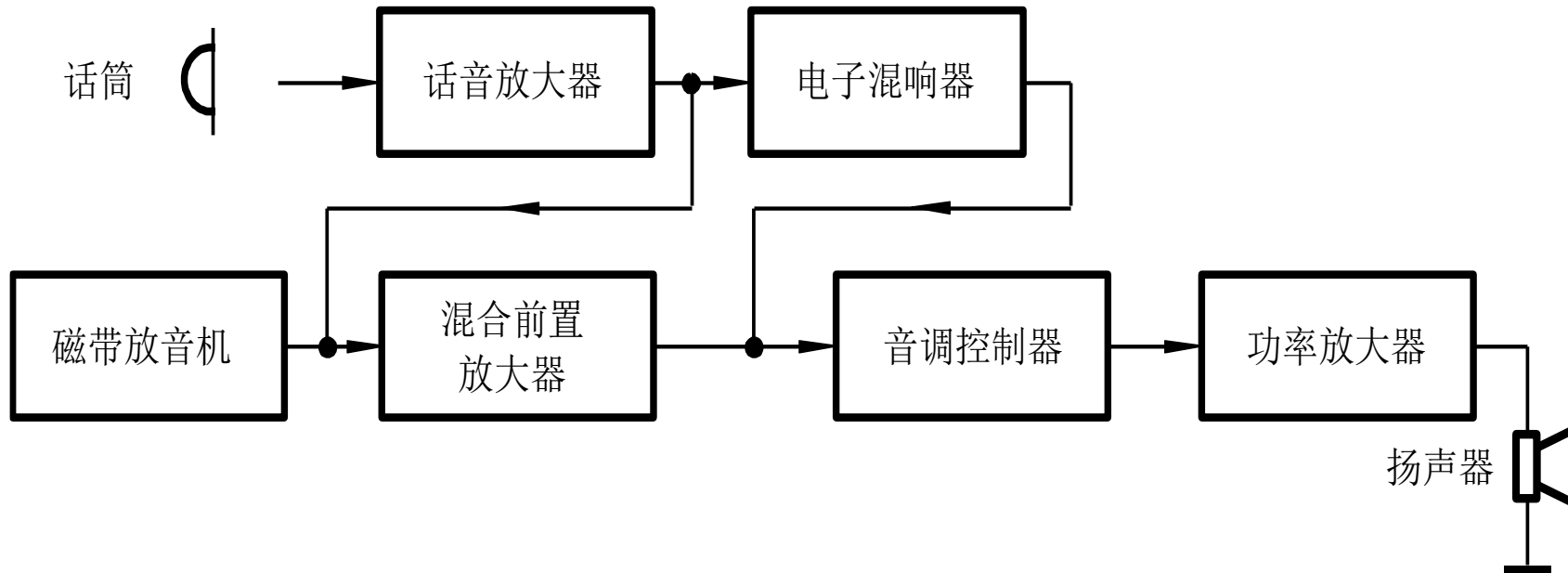
Agenda

- ▶ 实验目的
- ▶ 设计任务
- ▶ 工作原理
- ▶ 设计举例
- ▶ 安装调试
- ▶ 测试验收



三、工作原理

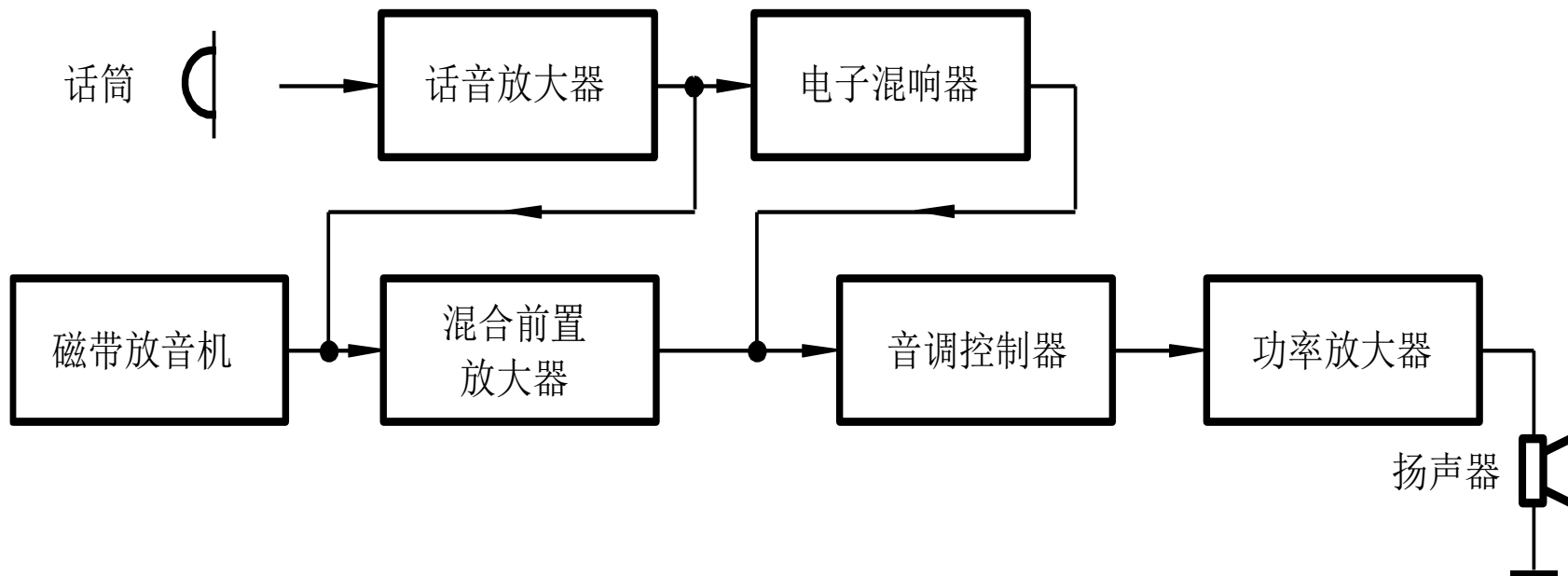
► 1、音响放大器的基本组成



- **话筒**的输出信号一般只有5mV左右，而输出阻抗达到20k Ω (亦有低输出阻抗的话筒如20 Ω ，200 Ω 等)
- **话音放大器**的作用是不失真地放大声音信号(最高频率达到10kHz)。其输入阻抗应远大于话筒的输出阻抗。

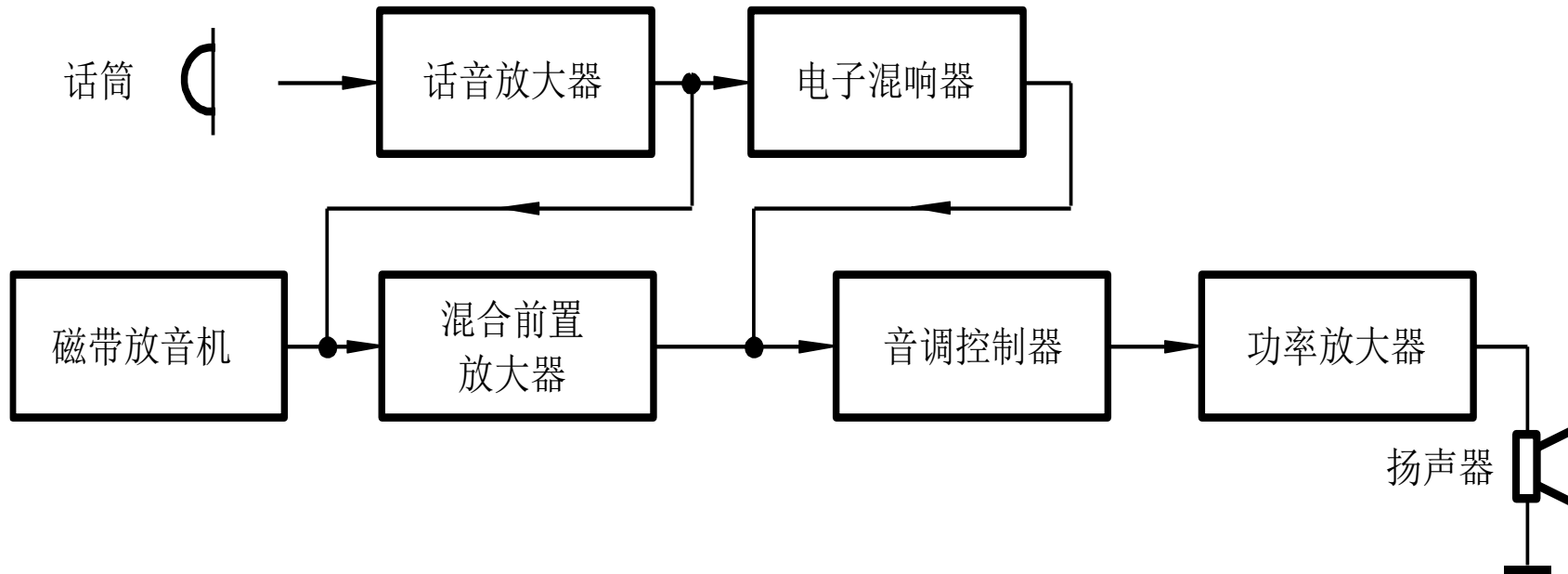
三、工作原理

► 1、音响放大器的基本组成（续）



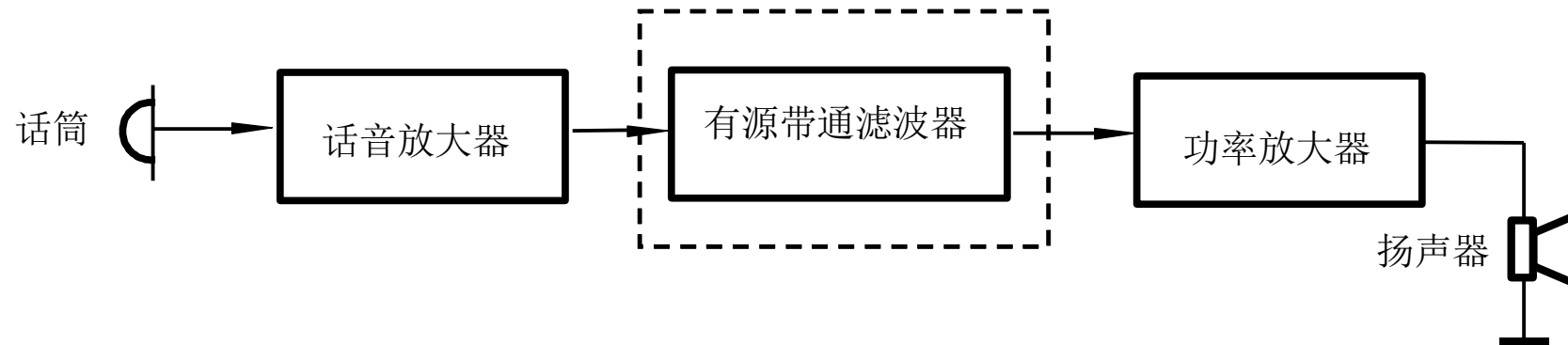
- **电子混响器**是用电路模拟声音的多次反射，产生混响效果，使声音听起来具有一定的深度感和空间立体感。
- **混合前置放大器**将磁带放音机输出的音乐信号与电子混响后的声音信号混合放大。

► 1、音响放大器的基本组成（续）



- **音调控制器**主要是控制、调节音响放大器的幅频特性。
- **功率放大器**给音响放大器的负载RL(扬声器)提供一定的输出功率。

► 2、简化的音响电路框图——P241



- **话筒**的输出信号一般只有5mV左右，而输出阻抗达到20k Ω (亦有低输出阻抗的话筒如20 Ω ，200 Ω 等)
- **话音放大器**的作用是不失真地放大声音信号(最高频率达到10kHz)。其输入阻抗应远大于话筒的输出阻抗。
- **功率放大器**给音响放大器的负载RL(扬声器)提供一定的输出功率。

► 3、音响放大器主要技术指标

- 额定功率

- 音响放大器输出失真度小于某一数值（如<5%）时的最大功率称为额定功率。其表达式为：

$$P_o = V_o^2 / R_L \quad (5.5.22)$$

- 式中， R_L 为额定负载阻抗；
- V_o (有效值)为 R_L 两端的最大不失真电压。
- V_o 常用来选定电源电压 V_{CC}

$$V_{cc} \geq 2\sqrt{2}V_o$$

▶ 3、音响放大器主要技术指标

• 输入阻抗

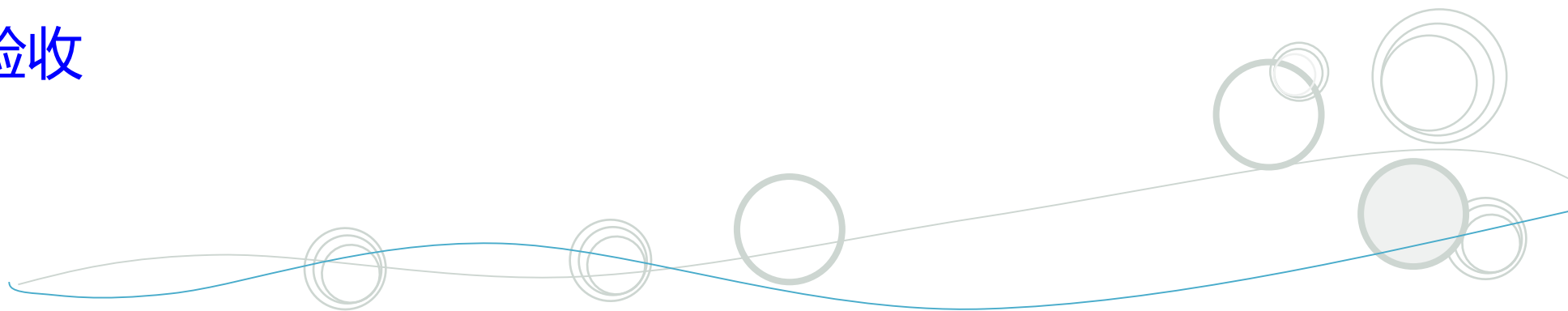
- 将从音响放大器输入端(话音放大器输入端)看进去的阻抗称为输入阻抗 R_i 。
- 如果接高阻话筒，则 R_i 应远大于 $20k\Omega$ 。接电唱机， R_i 应远大于 $500k\Omega$ 。
- R_i 的测量方法与放大器的输入阻抗测量方法相同。

• 整机效率

- 式中， P_o 为输出的额定功率； $\eta = P_o / P_v \times 100\%$
- P_v 为输出额定功率时所消耗的电源功率。

Agenda

- ▶ 实验目的
- ▶ 设计任务
- ▶ 工作原理
- ▶ 设计举例
- ▶ 安装调试
- ▶ 测试验收



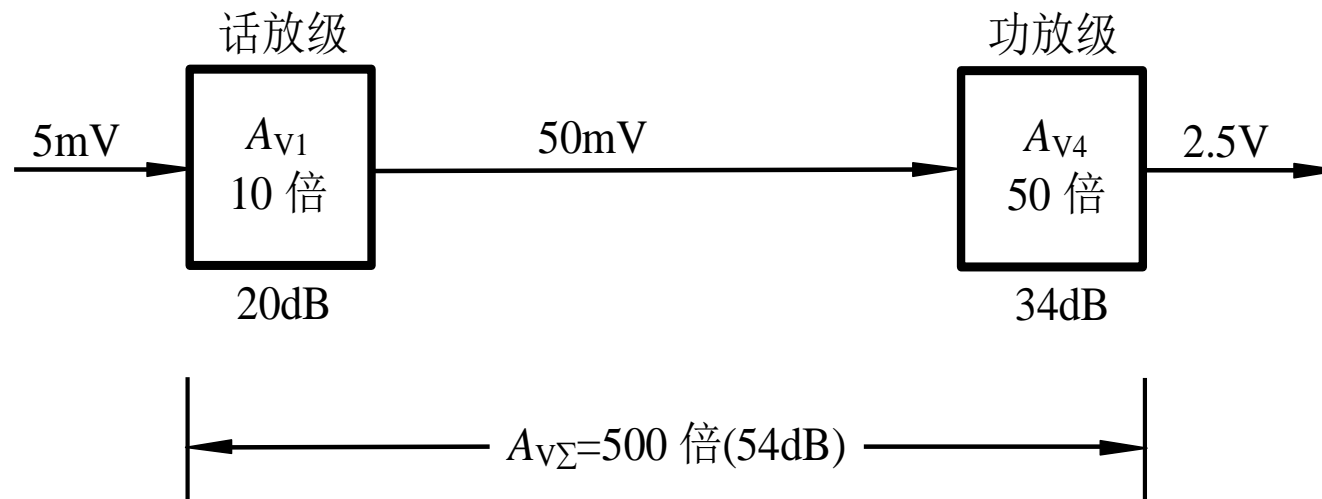
四、设计过程（举例）

► 技术指标要求：

- 额定功率： $P_o \geq 0.3W$ ($\gamma < 3\%$)
- 负载阻抗： $R_L = 10\Omega$
- 频率响应： $f_L = 50Hz$, $f_H = 20kHz$
- 输入阻抗： $R_i \gg 20k\Omega$

► 根据技术指标要求

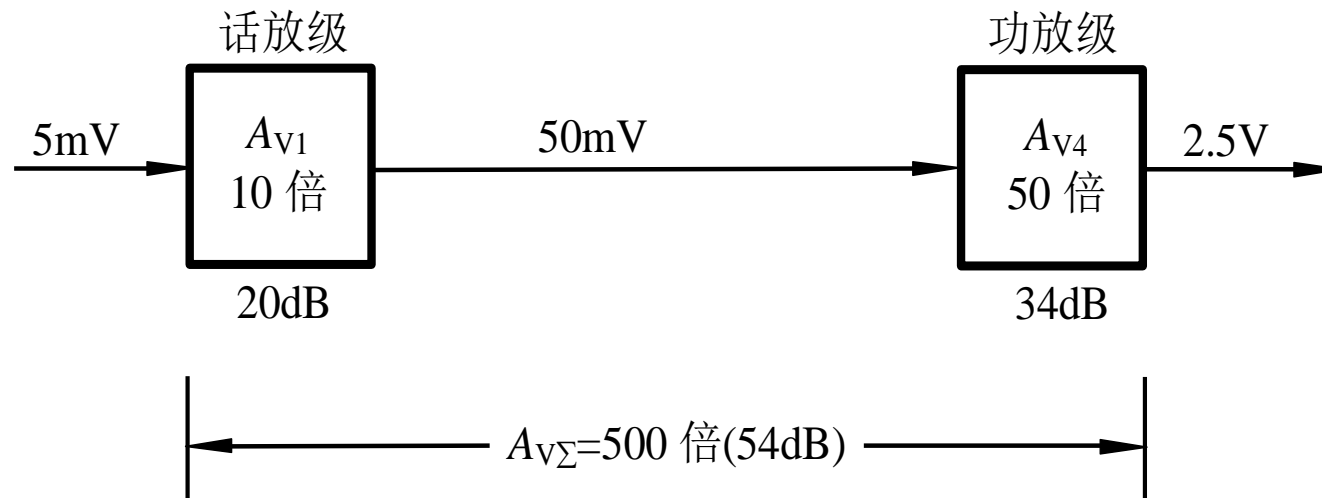
- 音响放大器的输入为5mV时，输出功率大于1W ($P_o = V_o^2 / R_L$) 则输出电压 $V_o \geq 2.5V$ 。总电压增益 $A_{v\Sigma} = V_o / V_i > 500$ 倍 (54dB)。



四、设计过程（举例）

► 根据技术指标要求

- 音响放大器的输入为5mV时，输出功率大于1W ($P_o = V_o^2 / R_L$) 则输出电压 $V_o \geq 2.5V$ 。总电压增益 $A_{v\Sigma} = V_o / V_i > 500$ 倍 (54dB)。

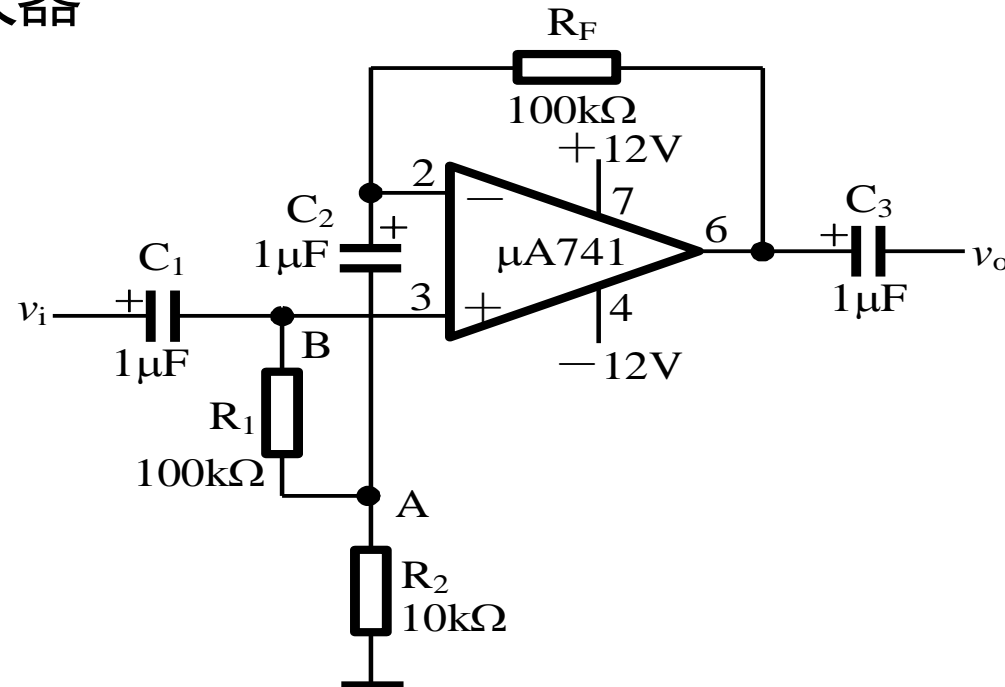


- 确定整机电路的级数
- 根据各级的功能及技术指标要求分配电压增益
- 分别计算各级电路参数，通常从功放级开始向前级逐级计算

四、设计过程（举例）

► 话放部分

- 话筒的输出信号一般只有5mV左右，而输出阻抗达到20k Ω (亦有低输出阻抗的话筒如20 Ω ，200 Ω 等)
- 话音放大器的作用是不失真地放大声音信号(最高频率达到10kHz)。其输入阻抗应远大于话筒的输出阻抗。
- 自举式交流电压放大器



四、设计过程（举例）

► 功率放大器

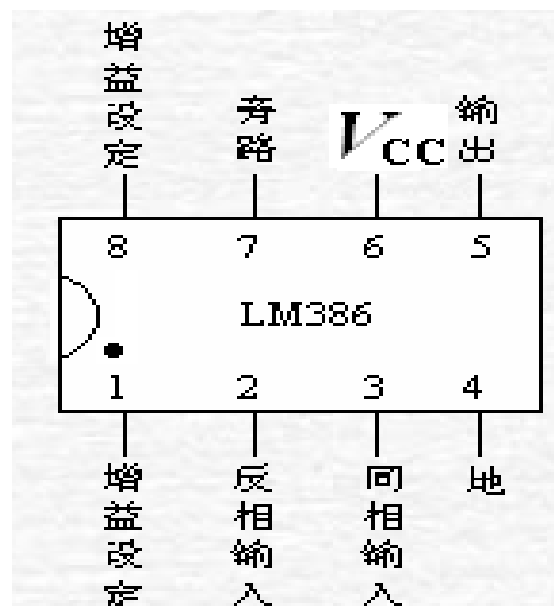
- 功率放大器(简称功放)的作用是给音响放大器的负载 R_L (扬声器)提供一定的输出功率。当负载一定时，希望：
 - 输出的功率尽可能大
 - 输出信号的非线性失真尽可能地小
 - 效率尽可能高
- LM386集成功率放大器
 - 目前集成功放电路已大量涌现,其内部电路一般均为OTL或OCL电路,集成功放除了具有分立元件OTL或OCL电路的优点,还有体积小、工作稳定可靠、使用方便等优点,因而获得了广泛的应用。
 - LM386是一种低电压通用型低频集成功放。该电路功耗低、允许的电源电压范围宽、通频带宽、外接元件少，广泛用于收录音机、对讲机、电视伴音等系统中。



四、设计过程（举例）

► 功率放大器

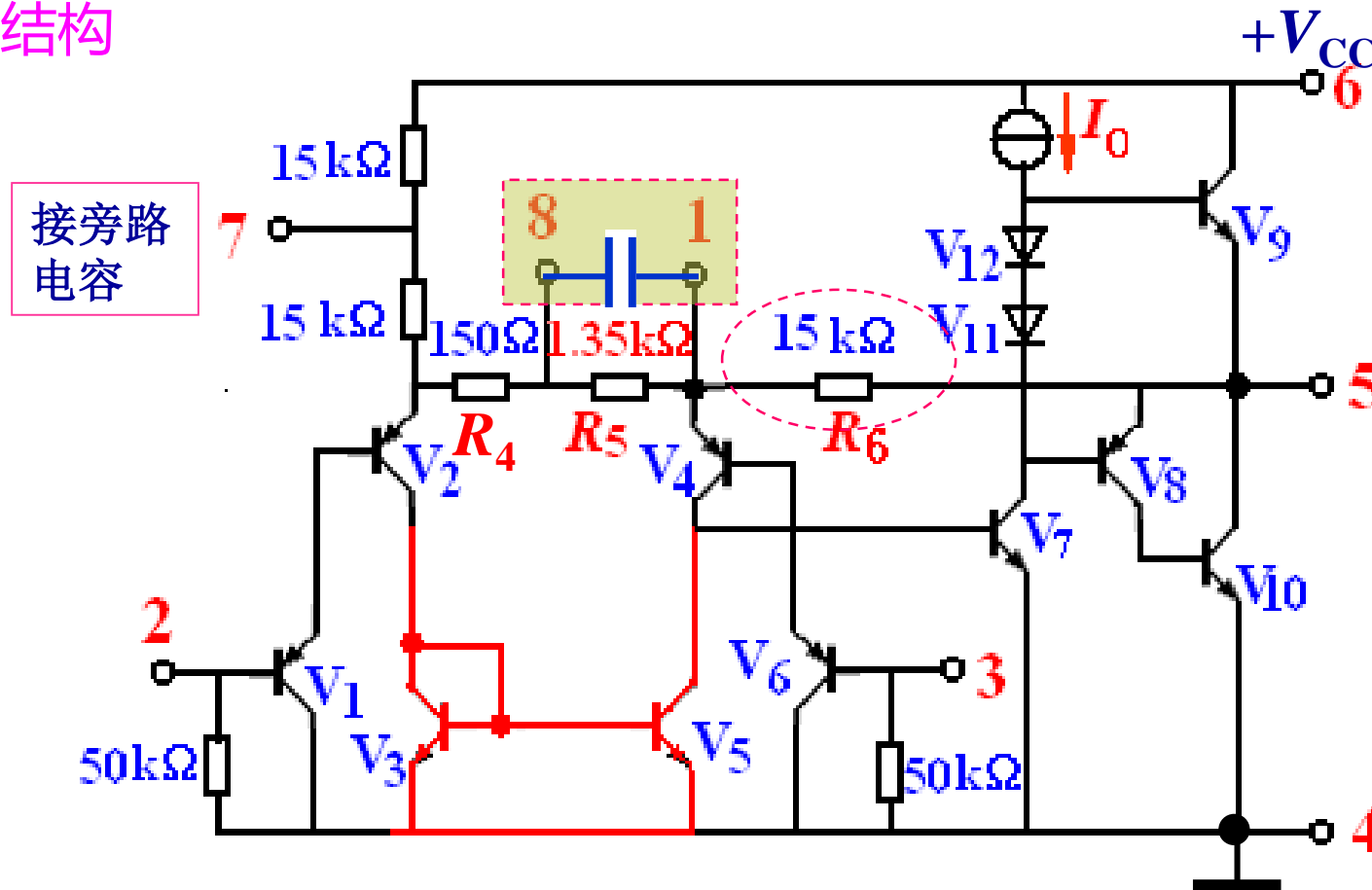
- LM386集成功率放大器



四、设计过程（举例）

► 功率放大器

- LM386集成功率放大器
 - 内部结构



$$A_{VF} \approx \frac{2R_6}{R_4 + R_5}$$

1. 8 开路时,
 $A_v = 20$
(负反馈最强)

1. 8 交流短路
 $A_v = 200$
(负反馈最弱)

四、设计过程（举例）

► 功率放大器

- LM386集成功率放大器
 - LM386主要性能指标

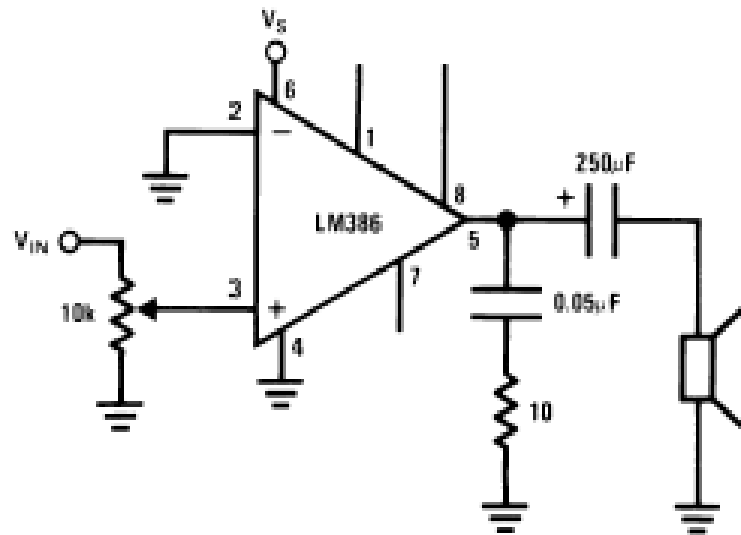
Parameter	Conditions	Min	Typ	Max
电源电压范围(V)		5		18
静态电源电流 I_Q	$V_{CC} = 6V, v_{IN} = 0$		4 mA	8
输出功率(P_{OUT})	$V_{CC} = 16V, R_L = 32 \Omega$, THD = 10%	700 mW	1000mW	
电压增益(A_V)	$V_{CC} = 6V, f = 1 \text{ kHz}$ 10 μF from Pin 1 to 8		26 dB 46 dB	
频带宽(BW)	$V_{CC} = 6V$, Pins 1 and 8 Open		300 kHz	
输入阻抗(R_{IN})			50	

四、设计过程（举例）

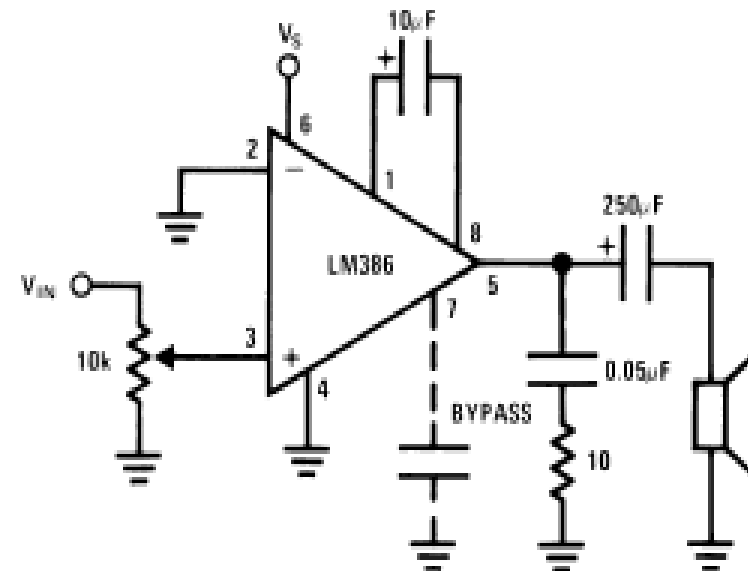
► 功率放大器

- LM386集成功率放大器
 - LM386应用电路(1)

Amplifier with Gain = 20
Minimum Parts



Amplifier with Gain = 200



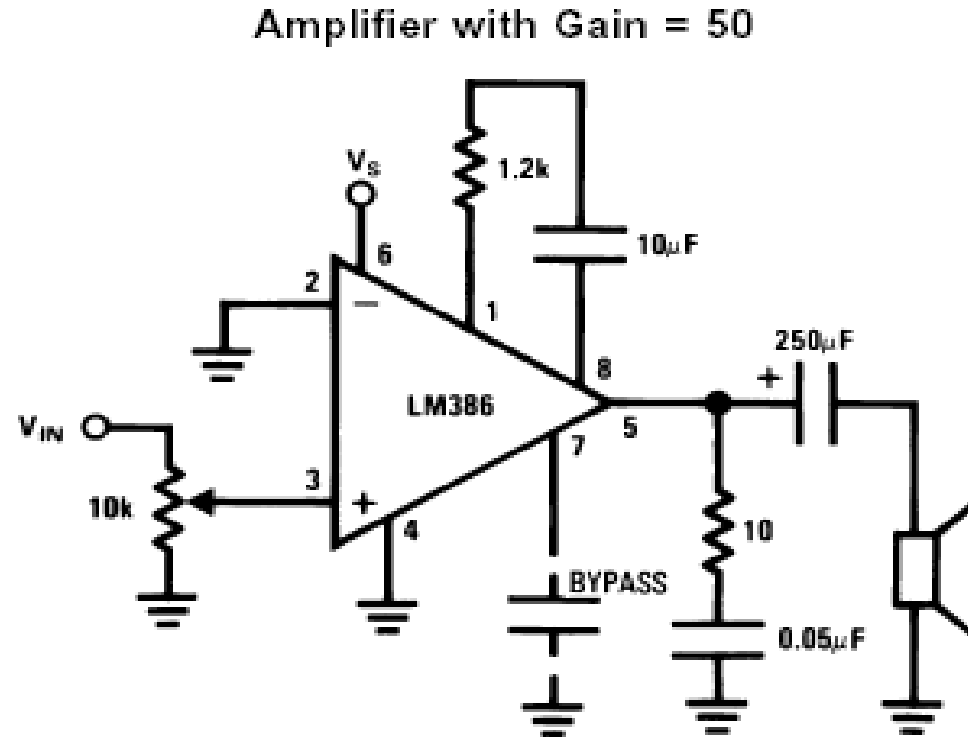
四、设计过程（举例）

► 功率放大器

- LM386集成功率放大器

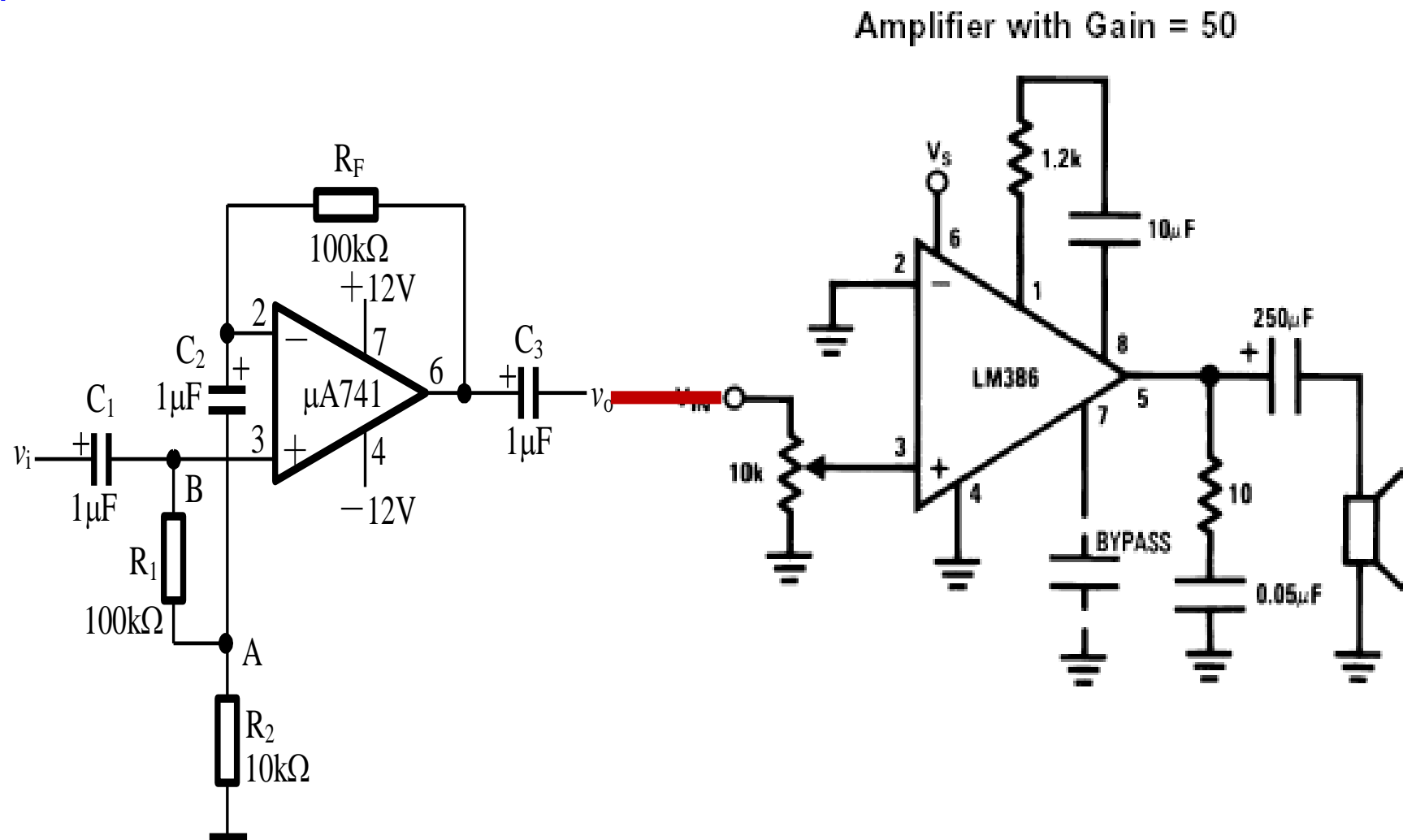
- LM386应用电路(2)

- 1、8脚之间的1.2K可以换为电位器，灵活调节电压增益



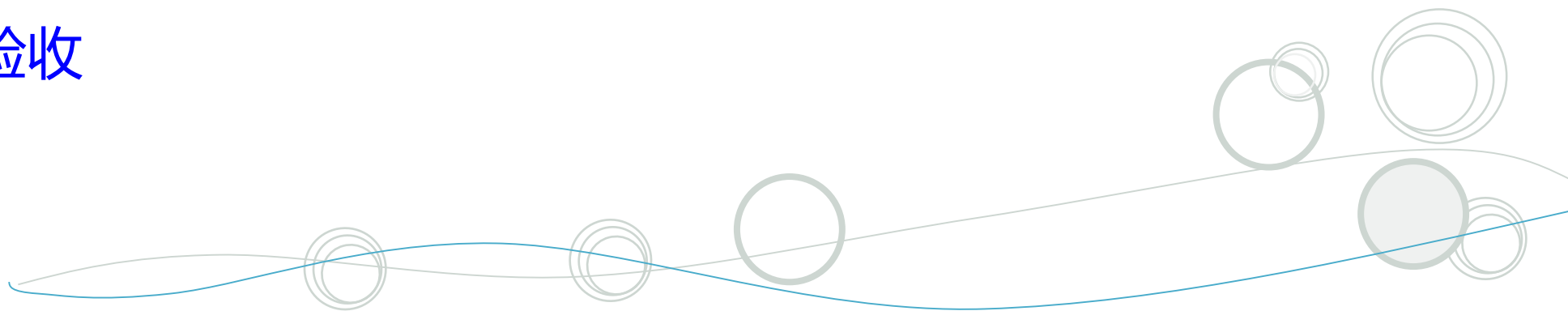
四、设计过程（举例）

► 整机框图



Agenda

- ▶ 实验目的
- ▶ 设计任务
- ▶ 工作原理
- ▶ 设计举例
- ▶ 安装调试
- ▶ 测试验收



五、电路安装与调试

► 1、合理布局，分级装调

- 音响放大器是一个小型电路系统，安装前要对整机线路进行合理布局，一般按照电路的顺序一级一级地布线
 - 从输入级开始向后级安装，也可以从功放级开始向前逐级安装
- 功放级应远离输入级
- 每一级的地线尽量接在一起
- 连线尽可能短，否则很容易产生自激。
- 安装前应检查元器件的质量
- 安装时特别要注意功放块、运算放大器、电解电容等主要器件的引脚和极性，不能接错
- 安装一级调试一级，安装两级要进行级联调试，直到整机安装与调试完成。



► 2、电路调试技术

- 电路的调试过程一般是先分级调试，再级联调试，最后进行整机调试与性能指标测试。
- 分级调试又分为静态调试与动态调试。
 - 静态调试时，将输入端对地短路，用万用表测各级输出端对地的直流电压。
 - 话放级、混放级、音调级都是由运算放大器组成的，其静态输出直流电压均为 $V_{CC}/2$ ，功放级的输出(OTL电路)也为 $V_{CC}/2$ ，且输出电容CC两端充电电压也应为 $V_{CC}/2$ 。
 - 动态调试是指输入端接入规定的信号，用示波器观测各级输出波形，并测量各项性能指标是否满足题目要求，如果相差很大，应检查电路是否接错，元器件数值是否合乎要求，否则是不会出现很大偏差的。

► 2、电路调试技术

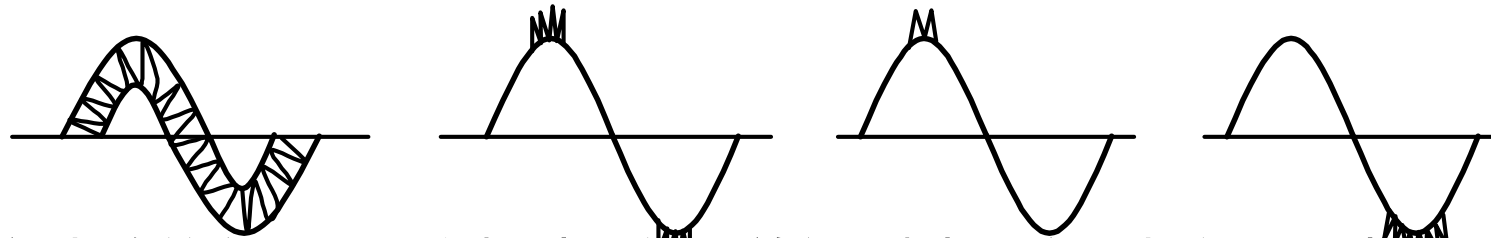
- 单级电路调试时的技术指标较容易达到，但进行级联时，由于级间相互影响，可能使单级的技术指标发生很大变化，甚至两级不能进行级联。产生的主要原因：
 - 一、是布线不太合理，形成级间交叉耦合，应考虑重新布线；
 - 二、是级联后各级电流都要流经电源内阻，内阻压降对某一级可能形成正反馈，应接RC去耦滤波电路。
 - 三、电源部分一般要在VCC与地之间加电容，以消除电源部分的干扰。一般用几百微法大电容去除低频干扰，用 $0.1\mu\text{F}$ 小电容相并联去除高频干扰。

五、电路安装与调试

► 2、电路调试技术

• 高频自激

- 由于功放级输出信号较大，对前级容易产生影响，引起自激。集成块内部电路多极点引起的正反馈易产生高频自激，常见高频自激现象如图所示。



- 可以加强外部电路的负反馈予以抵消，如功放级5脚与7脚接入电容，可消除叠加的高频毛刺。

► 2、电路调试技术

• 低频自激

- 常见的低频自激现象是电源电流表有规则地左右摆动，或输出波形上下抖动。
- 产生的主要原因是输出信号通过电源及地线产生了正反馈。可以通过接入RC去耦滤波电路消除。
- 电源部分一般要在VCC与地之间加电容。以消除电源部分的干扰。一般用几百微法大电容去除低频干扰，用 $0.1\ \mu\text{F}$ 小电容相并联去除高频干扰。



Agenda

- ▶ 实验目的
- ▶ 设计任务
- ▶ 工作原理
- ▶ 设计举例
- ▶ 安装调试
- ▶ 测试验收



六、实验测试

► 测试内容

- 测量频率为1kHz时的输出功率 P_o 、各单元电路电压增益 A_v 及整机电压增益 A_v 。
- 用 $8\Omega/4W$ 的扬声器代替负载电阻 R_L ，可进行以下功能试听：
 - 话音扩音：
 - 将低阻话筒接话音放大器的输入端。应注意，扬声器输出的方向与话筒输入的方向相反，否则扬声器的输出声音经话筒输入后，会产生自激啸叫。讲话时，扬声器传出的声音应清晰，改变音量电位器，可控制声音大小。
 - 音乐欣赏：
 - 将录音机输出的音乐信号，接入前置放大器，扬声器的输出音调不失真。并且没有杂音。



► 测试内容

- 测量 P_o 的步骤：
 - 功率放大器的输出端接额定负载电阻 R_L （代替扬声器）
 - 逐渐增大输入电压 V_i ，直到 V_o 的波形刚好不出现削波失真(或 $<3\%$)，此时对应的输出电压为最大输出电压
 - 由式(5-5-22)即可算出额定功率 P_o 。
- 注意：在最大输出电压测量完成后应迅速减小 V_i ，否则会因测量时间太久而损坏功率放大器。

六、实验测试

► 验收要求

- 基本要求

- 整机能够正常工作，可以对输入的音乐进行混合放大。
- 测量频率为1kHz时的输出功率 P_o 、各单元电路电压增益 A_v 和整机电压增益 A_v ，记录到验收表格中。



Thanks

