

职业资格培训教材
社会力量办学培训教材

(中级)

家用电子产品 维修工

● 劳动和社会保障部教材办公室组织编写



 中国劳动社会保障出版社

职业资格培训教材
社会力量办学培训教材

家用电子产品维修工

(中 级)

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

家用电子产品维修工：中级/劳动和社会保障部教材办公室组织编写. —北京：中国劳动社会保障出版社，2002

职业资格培训教材. 社会力量办学培训教材

ISBN 7-5045-3815-9

I. 家… II. 劳… III. 日用电气器具-维修-技术培训-教材 IV. TM925.07

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 055736 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码：100029)

出版人：张梦欣

*

北京市艺辉印刷有限公司印刷装订 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 19.25 印张 479 千字

2003 年 3 月第 1 版 2006 年 9 月第 3 次印刷

印数：2000 册

定价：31.00 元

读者服务部电话：010-64929211

发行部电话：010-64927085

出版社网址：<http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话：010-64911344

前 言

《劳动法》和《职业教育法》明确规定，在全社会实行学历文凭和职业资格证书并重的就业制度。在国家劳动和社会保障行政管理部门的大力倡导下，取得职业资格证书已经成为劳动者就业上岗的必备的前提，同时，作为劳动者职业能力的客观评价，已经为人力资源市场供求双方普遍接受。取得职业资格证书不但是广大从业人员、待岗人员的迫切需要，而且已经成为各级各类普通教育院校、职业技术教育院校毕业生追求的目标。

开展职业资格培训教材建设十分重要。为此，劳动和社会保障部教材办公室、中国劳动社会保障出版社组织编写了《职业资格培训教材》，用于规范和引导职业资格培训教学。第一批组织编写的有：制冷设备维修工、冷作钣金工、制冷空调工、家用视频设备维修工、客房服务员、电工、办公设备维修工、电梯安装维修工、计算机操作员、计算机调试工、计算机维修工、汽车修理工 12 个职业的教材。《家用电子产品维修工》为第二批组织编写的教材。

职业资格培训教材的主要特点是：

1. 最大限度地体现技能培训的特色。教材以最新国家职业标准为依据，以职业技能鉴定要求为尺度，以满足本职业对从业人员的要求为目标。凡《标准》中要求的技能和有关知识，均作了详细的介绍。

2. 以岗位技能需求为出发点，按照“模块式”教材编写思路，确定教材的核心技能模块，以此为基础，得出完成每一个技能训练单元所需掌握的工艺知识、设备（工具）知识、相关知识和技能、专业知识、基础知识，并根据培训教学的基本规律，按照基础知识、专业知识、相关知识、设备（工具）知识、工艺知识、技能训练的次序组成教材的结构体系。

3. 服务目标明确。从教学形式上，主要服务于教育、劳动社会保障系统，以及其他培训机构或社会力量办学所举办的各种类型的培训教学，也适用于各

级各类职业技术学校举办的中短期培训教学，以及企业内部的培训教学；从培训教学时间上，服务于3~6个月不同等级的培训教学，即300~600授课学时的培训教学。

4. 在强调实用性、典型性的前提下，充分重视内容的先进性。尽可能地反映与本职业相关联的新技术、新工艺、新设备、新材料、新方法。

本书由滕林庆、田丰（天津市国家职业技能鉴定所第三十一所）、刘永（南开大学）、高宝琨、王继军、崔利民（天津市新华中专学校）、徐晓黎（南开大学）编写，滕林庆主编，刘永、高宝琨副主编；胡克明、张洪炎、高士文审稿，胡克明主审。

编写过程中，得到天津市劳动和社会保障局刁九健副局长、张冀威、杨崇伦、史武华和天津市新华中专学校王芝荣、郭淑芬等同志的大力支持，在此一并致谢。

编写职业资格教材是一项探索性的事业，尽管参与编写的专家已经为此付出了艰苦的努力，但是由于缺乏可以借鉴的成功经验，加之时间仓促，存在缺点和不足实所难免，恳切希望广大读者提出宝贵意见和建议，以便今后修订，逐步完善。

劳动和社会保障部教材办公室

目 录

基础知识部分

单元 1 放大电路知识	(1)
1.1 多级放大电路	(1)
1.2 集成运算放大电路	(7)
单元 2 门电路和组合逻辑电路	(16)
2.1 二进制数与编码	(16)
2.2 组合逻辑电路	(21)
单元 3 触发器和时序逻辑电路	(28)
3.1 触发器	(28)
3.2 时序逻辑电路	(32)
单元 4 数/模转换器	(40)
4.1 模/数 (A/D) 和数/模 (D/A) 转换的概念	(40)
4.2 数/模转换器	(42)
4.3 数/模转换器与遥控系统	(46)
单元 5 微处理器	(47)
5.1 微处理器的结构与原理	(47)
5.2 遥控技术	(52)
单元 6 立体声组合音响的结构及工作原理	(56)
6.1 立体声组合音响的基本原理	(56)
6.2 数字调谐器	(71)
6.3 双卡录音机	(76)
单元 7 遥控彩色电视机的电路组成及工作原理	(92)
7.1 遥控彩色电视机的电路结构及特点	(92)

7.2 遥控系统的组成及电路原理	(98)
7.3 M50436—560SP 遥控系统电路分析	(123)
单元 8 家用录像机的结构及工作原理	(147)
8.1 录像机的基本组成及录放原理	(147)
8.2 高密度视频磁记录技术	(152)
8.3 视频信号处理电路	(161)
8.4 音频信号处理电路	(173)
8.5 系统控制电路及微处理器	(177)
8.6 射频电路	(189)
8.7 伺服系统	(192)
8.8 电源电路	(201)
8.9 录像机的机械系统	(205)

相关知识部分

单元 9 光学基础知识	(212)
9.1 光和几何光学	(212)
9.2 光的反射和折射定律	(213)
9.3 凸透镜和凹透镜成像	(217)
9.4 透镜的组成及性能	(219)
单元 10 常用工具、仪器仪表的使用	(221)
10.1 常用维修专用工具	(221)
10.2 维修常用仪器、仪表	(224)

技能部分

单元 11 组合音响的调整及故障检修	(228)
11.1 组合音响的调整方法	(228)
11.2 组合音响的故障检修	(231)

单元 12 遥控彩色电视机遥控部分故障分析与检修	(242)
12.1 遥控彩色电视机常见故障分析.....	(242)
12.2 遥控部分的检修.....	(246)
单元 13 录像机各部分故障及检修	(273)
13.1 视频电路常见故障.....	(273)
13.2 系统控制电路常见故障.....	(281)
13.3 伺服系统电路常见故障.....	(285)
13.4 机械系统故障.....	(289)
13.5 射频变换器的检修.....	(291)
单元 14 录像机检修技术与技巧	(294)
14.1 检修前的直观检查与初步分析.....	(294)
14.2 检修的基本技巧.....	(296)

基础知识部分

单元 1 放大电路知识

1.1 多级放大电路

电视机、收音机等接收到的信号非常微弱，用一级、两级放大器放大往往不够。为了达到更高的放大倍数，常常需要把若干个放大电路连接起来组成一个多级放大器。

多级放大器是由简单放大器级联构成，按耦合方式不同可分为阻容耦合、直接耦合和变压器耦合等三种。

(1) 阻容耦合多级放大电路的组成

共发射极基本放大电路，如图 1—1a 所示。在这个电路中，放大后的输出信号通过电容 C_2 加到负载 R_L 上。如果将已放大的信号送到第二级放大器继续放大，就得到一个两级放大器，如图 1—1b 所示，这种通过电容 C_2 与下一级放大器连接的方式叫做阻容耦合方式。

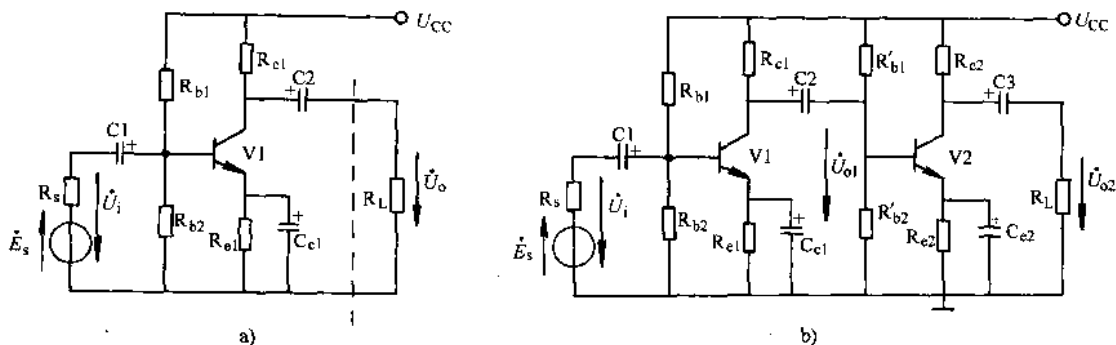


图 1—1 两级阻容耦合放大电路

阻容耦合方式的优点是：由于前后两级之间通过电容相接，各级之间的直流电路互不相通，静态工作点互相独立，不致相互影响，使这种电路的分析、设计和调试非常方便，所以这种耦合方式应用最普遍。这种电路也有一定的局限，它不适合于放大缓慢变化的信号，因为缓变信号在通过耦合电容时容抗大，信号衰减很大。如果信号缓变而接近直流，这种电路将无能为力，只能采用直接耦合放大器或集成运算放大器。

1) 单级阻容耦合放大器电压放大倍数的计算 在单级放大器图 1—1a 中，单级放大器电压放大倍数 A_u 为

$$A_u = -\frac{\beta R'_L}{r_{be}} \quad (1-1)$$

$$r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{26}{I_e} (\Omega) \quad (1-2)$$

$$R'_L = \frac{R_c R_L}{R_c + R_L} \quad (1-3)$$

式中 β ——晶体管电流放大系数；

r_{be} ——晶体管 b、e 极之间的等效输入电阻， Ω ，它的数值与电路的静态工作点有关；

$r_{bb'}$ ——晶体管基区电阻，对小功率晶体管一般取 $100 \sim 300 \Omega$ 左右；

I_e ——晶体管发射极电流，mA，它实际上就等于集电极电流 I_c 的值，从式 (1-2)

可以看出，静态工作点电流 I_c 取得越大，晶体管输入电阻就越小；

R'_L ——放大器集电极交流负载电阻， Ω 。

显然，当给定电路各元件数值后，很容易计算出这个放大器的电压放大倍数来。

2) 多级阻容耦合放大电压放大倍数的计算 现在讨论图 1-1b 中两级放大器的电压放大倍数。在图 1-1b 中，第二级放大器的输入端取代了第一级放大器的负载 R_L ，根据交流等效电路分析，第二级放大器的输入电阻 r_{i2} 为

$$r_{i2} = R_{b21} // R_{b22} // r_{be2} \quad (1-4)$$

式中 r_{be2} ——第二级放大器晶体管的输入电阻， Ω ；

r_{i2} 等于 r_{be2} 与偏置电阻 R_{b21} 、 R_{b22} 的并联。这样，考虑到第二级接入后，第一级放大器电压放大倍数 A_{u1} 为：

$$A_{u1} = -\frac{\beta_1 R'_{L1}}{r_{be1}} \quad (1-5)$$

$$R'_{L1} = \frac{R_{c1} r_{i2}}{R_{c1} + r_{i2}} \quad (1-6)$$

经过第一级放大后，输入到第二级的信号 $A_{u1} U_i$ 又被第二级放大，其放大倍数 A_{u2} 为

$$A_{u2} = -\frac{\beta_2 R'_{L2}}{r_{be2}} \quad (1-7)$$

式中 R'_{L2} ——第二级集电极电阻 R_{c2} 与负载 R_L 的并联电阻， Ω ；

β_2 ——该级晶体管电流放大系数。

这样，在两级放大器终端负载 R_L 上得到的信号电压应该为 $A_{u1} A_{u2} U_i$ ，于是两级放大器的电压放大倍数 A_u 为

$$A_u = A_{u1} A_{u2} \quad (1-8)$$

当信号经过两级放大器放大还不能满足要求时，还要继续再接第三级、第四级，仿照前面计算可以推导出多级级联的放大器总放大倍数 A_u 为

$$A_u = A_{u1} \times A_{u2} \times A_{u3} \times \cdots \times A_{un} \quad (1-9)$$

在实际应用中，放大器耦合级数越多，电路越不容易稳定。因此，多级放大器一般都不超过三级。

(2) 多级放大电路的频率特性

电压放大倍数计算公式(1—1)只是在工作频率既不太高又不太低的条件下才正确。因为在电路中有一些电容元件,如 C_1 、 C_2 和 C_{e1} 等,在以往分析中都视为短路了。然而,电容对低频信号呈现很大的阻抗,不能看成短路。另一方面,晶体管在高频工作时,必须考虑PN结电容的影响,随着频率增加, β 值显著下降,放大器放大能力降低。放大器对不同频率的信号响应能力称为放大器频率响应特性。

1) 共发射极放大电路频率响应特性 仍以上面讨论的共发射极基本放大器图1—1a为例,下面定性地分析输入信号幅度固定,仅仅频率改变时,放大倍数的变化。

先讨论频率不太低又不太高的情况。这一频段通常叫“中频”。首先是因为频率不低,放大器中的电容 C_1 、 C_2 和 C_{e1} 容抗不大,可以忽略不计,将其短路。这时电压放大倍数可表示为式(1—1)。式中的各参数均与频率无关,负数代表输出与输入相位相反,或者说输出比输入落后了 180° 相位。

在低频段,由于隔直电容 C_1 、 C_2 和发射极电阻 R_{e1} 的旁路电容 C_{e1} 容抗增大,信号在电容两端产生压降,输入给放大器的电压只有一部分加到晶体管be结之间,所以实际有效电压小,输出随之降低。而放大倍数是指输出电压与加到放大器输入口上的电压之比,外输入电压幅度没变,输出减小,则放大倍数减小。频率越低,减小的越多。

在高频段,晶体管结电容效应则不可忽略,晶体管各极e、b和c之间除了PN结电阻外,还有结电容。就是说,高频工作时,晶体管可看成如图1—2所示,其中发射结间的电容 C_{be} 和cb结间的电容 C_{bc} 对放大器影响最大。从图1—1a可见,当放大器工作在高频段时,耦合电容和发射极电阻旁路电容都已视为短路了。但晶体管中结电容 C_{be} 及 C_{bc} 却因电容值极小而不能视为短路,但其容抗值却大大降低了。甚至比 r_{be} 还要小,那么输入信号有很大一部分被结电容分流,频率越高,被分流的越多,那么集电极得到的电流 i_c 会越少,结果,导致 β 下降和整个放大器的电压放大倍数降低。

上面讨论了电容 C_1 、 C_2 和 C_{e1} 、结电容等对放大器低频和高频工作时放大幅度的影响。事实上,这些电容的存在不仅影响放大幅度,还使输出电压产生附加相移。流过电容器的电流与电容两端电压是不同相的,这是它与纯电阻电路不同的地方。如果除掉次要因素,只把最主要影响突出出来,放大器输入端的电路可等效成如图1—3所示的形式。图1—3a对应于低频工作的情况,图1—3b对应高频工作的情况。对图1—3a的电路进行简单计算表明, r_{be} 上的电压有一个超前的相移。同理,对图1—3b计算后电压将有一个滞后,这就使得放大器高频段,将在原有 180° 相移上又多增加了一个相移。

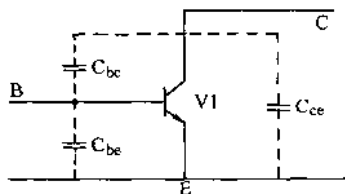


图1—2 晶体管结电容

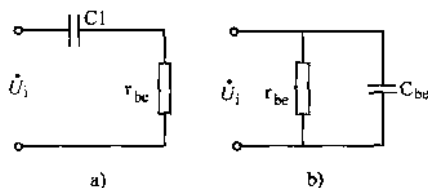


图1—3 放大器输入端等效电路

2) 放大器频带宽度 由上面分析可以看出,一个完整的频率响应特性曲线应如图1—4所示。其中图1—4a为放大器的幅频特性曲线,图1—4b表示放大器相移随频率变化的关系,称为相频特性,在低频段,电压超前了一个相位,放大器输出电压的相移小于 180° 。而

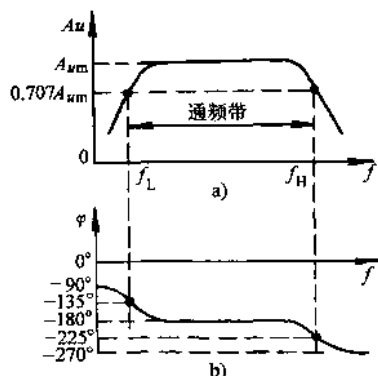


图 1—4 共射极基本放大电路的频率特性

a) 幅频特性 b) 相频特性

在高频段，输出电压相位则滞后。电压放大倍数 A_{um} 维持不变的区域称为中频放大区。并且规定，当电压放大倍数下降到 A_{um} 的 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 倍时，相应的低频频率 f_L 和高频频率 f_H 分别称为放大器的下限截止频率点和上限截止频率点。两者之间的频率范围称为放大器的通频带，记为 f_{BW} 。所以

$$f_{BW} = f_H - f_L \quad (1-10)$$

通频带宽度表征放大电路对不同频率输入信号的响应能力，是放大器重要的技术指标之一。

由于放大电路的通频带有一定的限制，对不同频率的输入信号，放大幅度 and 相位均不同。当输入信号包含有多个频率成分时，放大后将使原波形中各频率成分的比例关系发生变化而产生失真。需要注意的是，波形失真原因

来自两个方面，由于对不同频率成分的信号放大幅度不同引起的，称为幅度失真；因为放大器对不同频率成分的信号附加相移不同而产生的，称为相位失真。实际应用中，失真情况很难避免，但是如果输入信号的各主要频率分量、放大器的放大幅度和附加相移都相同，这个信号经放大后则基本不产生失真。

3) 共射极电路频带宽度的粗略估算 估算频带宽度 f_{BW} ，就是求出放大器的 f_H 和 f_L 数值。

① 高频截止频率 f_H 的估计 当频率很高时，晶体管的电流放大系数 β 因受内部结电容效应的影响随频率升高而下降，其关系可表示为一个复数 β

$$\beta = \frac{\beta_0}{1 + j \frac{f}{f_\beta}} \quad (1-11)$$

式中 β_0 —— 低频及中频时电流放大系数。式 1-11 的复数可以用模和幅角表示，即

$$|\beta| = \frac{\beta_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_\beta}\right)^2}} \quad (1-12)$$

$$\varphi_\beta = \arctan \frac{f}{f_\beta} \quad (1-13)$$

图 1—5 所示为 β 随频率升高而减小的关系曲线。由图可见，在频率较低时，晶体管 β 值基本保持常数 β_0 不变；随着频率增高，因 jf/f_β 项影响不能忽略， β 值逐渐减小，当 $f = f_\beta$ 时， β 值下降到低频时的 0.707 倍，即 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 倍， f_β 即称为晶体管共发射极截止频率。当然这里说的截止并非

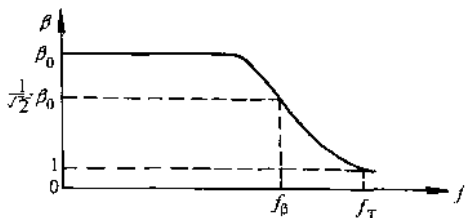


图 1—5 β 截止频率和特征频率

是超过频率 f_β 以后就不放大了，而是放大能力明显减弱而已。

在共发射极放大电路中，高频截止频率 f_H 基本上是由 β 特性决定的，因此，可粗略地认为

$$f_H = f_\beta \quad (1-14)$$

为了使放大器具有良好的高频特性,需要选用 f_β 值很高的晶体管。查阅晶体管手册时会发现,厂家给出的都是 f_T , f_T 称为特征频率。 f_T 参数是指晶体管 β 下降到 $|\beta| = 1$ 时对应的频率值。由晶体管原理可知, $f_T = f_\beta \beta$ 。挑选 f_β 高的管子就是挑选 f_T 高的晶体管。

②低频截止频率 f_L 的估算 在低频段,放大器放大能力的降低是由于耦合电容引起的。由图 1—3a 可粗略地估算出低频截止频率 f_L :

$$f_L = \frac{1}{2\pi C_1 r_{be}} \quad (1-15)$$

为了扩展低频端的放大能力,就要使 f_L 减小,这就意味着增大耦合电容 C_1 的数值和增加晶体管的输入电阻 r_{be} 。

③多级共发射极放大电路的频率特性 研究放大器频率特性后可以看到,每级放大器放大倍数都是频率的函数。所以多级放大器放大倍数的表达式应为

$$A_{u(f)} = A_{u1(f)} \times A_{u2(f)} \times A_{u3(f)} \times \cdots \times A_{um(f)} \quad (1-16)$$

以三级特性完全相同的单级放大器级联为例。若每级放大器电压放大倍数 $A_{u1(f)}$ 为

$$|A_{u1(f)}| = -\frac{\beta_0 R'_L}{r_{be}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_\beta}\right)^2}}$$

则根据式 (1-16) 得三级级联后总放大倍数 $A_{u(f)}$ 为:

$$A_{u(f)} = -\left(\frac{\beta_0 R'_L}{r_{be}}\right)^3 \left[\frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_\beta}\right)^2}}\right]^3 \quad (1-17)$$

根据放大器高频截止频率定义,在截止频率处,放大倍数应降至中频时的 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 。若三级级联的放大器中频时为

$$A_{um} = -\left(\frac{\beta_0 R'_L}{r_{be}}\right)^3$$

即要求在截止频率点 f_H 处

$$\left[\frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_H}{f_\beta}\right)^2}}\right]^3 = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (1-18)$$

由式 (1-18) 计算得出三级级联后的

$$f_H = 0.51 f_\beta$$

就是说,三级放大器级联后,放大器的高频截止频率点降低了几近一倍。

按照同样的方法,也可计算出低频端截止频率 f_L 升高了近似一倍。可见,多级放大器的频带宽度变窄了。

(3) 多级调谐放大器

1) 调谐放大电路的构成 图 1—6 所示是最常见的共发射极单调谐放大器电路。这种电路特别适用于高频。在电视机、收音机中都用到它。从耦合方式上讲,它属于变压器耦合。与以前分析过的电路区别在于它的集电极负载不是实在的电阻 R_c ,而是 LC 调谐电路。

为了研究调谐放大器的负载特性,将 LC 电路单独画出,如图 1—7 所示。图中的 R 是

电感线圈的铜线电阻，并不是外加的。 R 的数值虽然很小，但对电路特性的影响却很大。计算表明，由 RLC 组成的并联谐振电路具有选频特性，它对集电极电流 i_c 呈现的阻抗 Z 为

$$Z = \frac{\frac{L}{C}}{R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)} \quad (1-19)$$

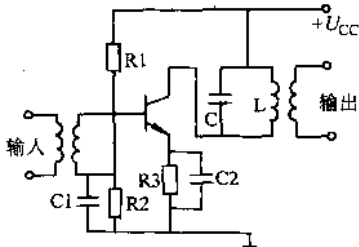


图 1—6 调谐放大器

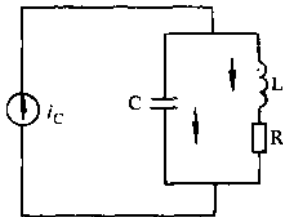


图 1—7 并联调谐电路

当 $\omega = \omega_0$ 时，式 1—19 中的虚部满足

$$\omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C} = 0$$

即

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (1-20)$$

此时，电路实现了谐振。其阻抗值最大，而且是纯电阻性。偏离频率 ω_0 以后，阻抗数值迅速减小，如图 1—8 所示。

从图 1—8 看出铜线电阻 R 对 Z 值的影响，铜线电阻 R 越小（这时越接近纯电感），电路的谐振阻抗

$$Z_0 = \frac{L}{CR} \quad (1-21)$$

越大，而且当频率偏离 ω_0 时阻抗值迅速下降，曲线陡峭。显然，这时放大器放大倍数大，通频宽度很小。相反，若电阻 R 数值大，则 Z_0 值小，曲线变化平缓，通频带宽一些，但放大器放大倍数就不大了。通常引入一个叫“ Q ”值的物理量来描述电感线圈的质量。它表示电路谐振时，电感线圈的感抗与线圈电阻 R 的比值。即

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} \quad (1-22)$$

“ Q ”叫做品质因数。 Q 值越大，谐振曲线越陡峭。一般收音机、电视机中的“中周”， Q 值多在 20~200 之间。这就保证了电路既具有较好的选频特性，又有合适的通频带宽度。

2) 双调谐回路 有的调谐放大器采用双调谐负载电路。如图 1—9 所示。其中初级和次级之间仍然采用变压器耦合方式。与图 1—6 不同之处是次级也是调谐的，而且还可以通过调节初、次级两个电感之间的距离，或调节电感线圈中的磁心来改变两电感之间的耦合程度，即调节两个线圈之间的互感量 M 的大小。这种电路的优点是在高频放大器中，可近似地获得图 1—10 所示的理想回路谐振特性曲线。因为双调谐回路的谐振特性不仅取决于回路的 R 、 L 和 C ，还与一、二次侧耦合度有关。所以，适当地调节互感量 M 就可获得完全不同的谐振曲线。如图 1—11 所示， $\gamma < 1$ ，代表耦合较弱的情况，它与前面介绍的单调谐回路相似。随着耦合度增加，曲线在 ω_0 处尖峰变宽、两侧变陡，甚至顶端出现较平坦的区

域, 图 1—11 中 $\eta=1$ 的曲线, 称为临界耦合曲线。如果再加大耦合量, 即 $\eta>1$, 曲线在 ω_0 处开始下陷, 两侧出现峰值, 则称之为过耦合。

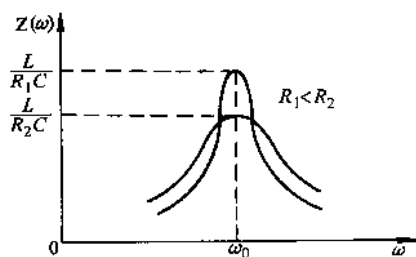


图 1—8 单调谐回路阻抗特性

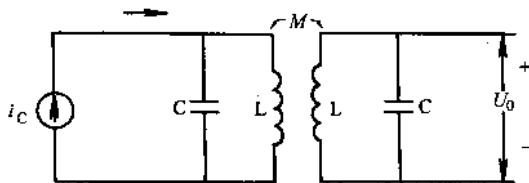


图 1—9 双调谐回路

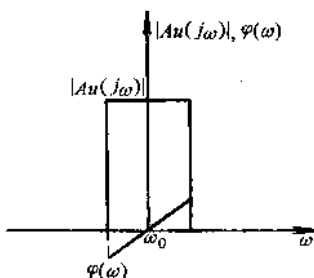


图 1—10 理想的回路谐振特性

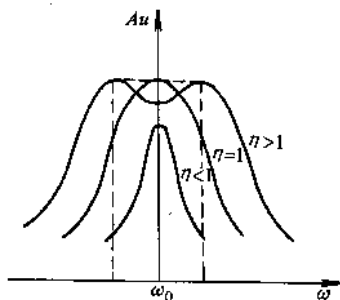


图 1—11 对应于不同的 η , 双调谐回路放大器的谐振曲线

从上述分析可以看出, 电路在临界耦合和稍微过耦合时, 曲线顶部都比较平坦, 两边下降又比较陡峭, 与弱耦合相比, 更接近图 1—10 的理想矩形特性, 我们说它“矩形系数”好。由于双调谐回路矩形系数好, 又能进行调节, 因此在高频电路中应用非常多。

3) 参差调谐放大器 当要求一个高频放大器通频带宽、矩形系数又好时, 常采用参差调谐放大器。假如有一个三级调谐放大器, 将第一级调谐在 ω_0 处, 将第二级放大器的谐振点调在 $\omega_0 + \Delta\omega$ 的位置, 而第三级的谐振频率调于 $\omega_0 - \Delta\omega$ 频率处, 如图 1—12a 所示。三条曲线合成后就得到图 1—12b 所示的频率响应特性。

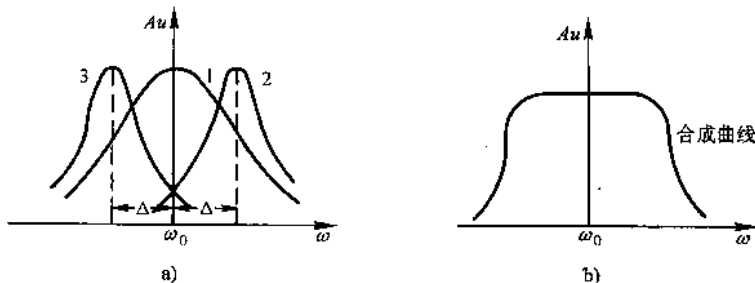


图 1—12 三参差调谐放大器特性

1.2 集成运算放大电路

集成电路是 20 世纪 60 年代初发展起来的半导体器件, 它的集成度高, 内部引线短, 外部接线大为减少, 从而提高了电子设备的可靠性和灵活性, 并且降低了成本, 为电子技术应

用开辟了全新的时代。目前,在模拟电子技术方面,各种用于弱信号放大的集成运算放大器可以非常容易地实现微伏级信号放大。在数字电子技术中应用的各种数字电路芯片,一片就能构成一个完整的信号处理系统,其中最典型的要算是单片机了。特别是制造商专为音响、VCD、电视机、录像机等设备制造的专用芯片,更是集放大、控制、存储为一体,使设备的功能和可靠性大为提高。

(1) 集成运算放大器的基本组成

普通集成运算放大器包括输入级、中间级和功率放大输出级三个部分。每一部分都由许多个放大电路构成,其基本结构框图如图 1—13a 所示,图 1—13b 是它的表示符号。

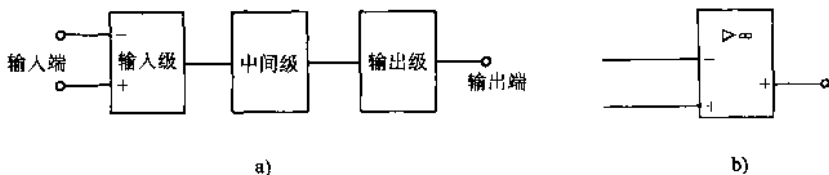


图 1—13 运算放大器的方框图和表示符号

1) 输入级 普通运放有两个输入端。一个称同相输入端,用符号 + 表示。另一个是反向输入端,用符号 - 表示。同相输入端口表示被放大的信号接到此输入端时,输出电压与输入是同相位的。而从反相输入端口接入时,输出信号的相位与输入信号的相位相反。

输入级的作用除能获得所要求的相位特性外,还要求有极高的输入电阻。许多集成运放器件为了获得极高的输入电阻而采用了 MOS 场效应管。实际运放器件输入电阻都可达到 $10^6 \Omega$ 以上,可近似认为无穷大。

输入端相位的转换是靠输入级的差动放大器实现的。在图 1—14 所示的双端输入、单端输出的差分放大器中,若 B 端接地,信号从 A 端输入,输出 u_o 与输入信号是同相位的。反之,将 A 端接地,信号从 B 端接入,则输出 u_o 的相位与输入信号相反。

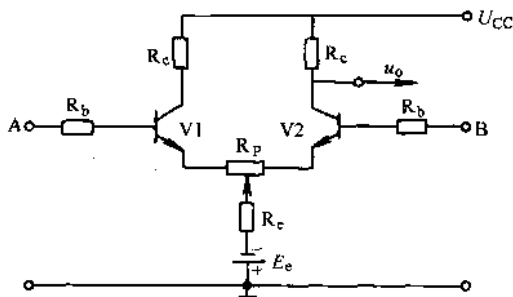


图 1—14 运放输入级示意图

2) 中间级 运算放大器的中间级是由多级直接耦合放大器级联组成的。为了获得高增益和高稳定度,在电路设计中加了负反馈和隔离电路等措施,实现了 $10^4 \sim 10^6$ 增益的效果。

通用的运算放大器都采用双电源工作,要求输入信号为零时,输出亦为零。中间级的放大器都是直接耦合的,静态电位相互制约,不一定都能满足这一要求。所以中间级除担负主放大任务外,还设计了电平移动电路来保证运算放大器输入端对地短路时,输出为零的要求。

3) 功率放大输出级 为了提高运算放大器带负载的能力,在运算放大器输出端加接一级功率放大,通常采用 OCL 电路形式并配以各种保护电路,从而降低了输出电阻,增强了使用的可靠性。

(2) 集成运算放大电路分析

实际使用的运算放大器输入电阻很大,输出电阻很小,开环增益几十万倍,因此,可近

似看成是理想运算放大器。因为，理想运算放大器的主要参数为：

输入电阻 $r_i = \infty$

开环增益 $A_{uo} = \infty$

输出电阻 $r_o = 0$

输入偏置电流 $I_b = 0$

将运算放大器理想化之后，分析电路就非常方便了。需要说明的是，运算放大器开环增益 $A_{uo} = \infty$ ，但它的频带宽度却很窄，只有几个赫兹，也不稳定，不能满足使用要求。通常需要引入深度负反馈来展宽频带和增加电路的稳定性。这时的放大器称为闭环工作状态。图 1—15 所示电路就是工作于闭环状态的反相放大电路。分析图 1—15 可知，放大器输出电压 u_o 总是有限的，若运算放大器的开环增益无限大，就意味着运算放大器实际输入端（+）（-）之间信号电压差值几乎为零。因为电路的（+）输入端是接地的，（-）输入端也应接近地电位，这称为“虚地”，就是虽然未接地，但仍是地电位的含义。这时信号电压 u_i 全部加在电阻 R_1 上，产生电流 i_1 为

$$i_1 = \frac{u_i}{R_1} \quad (1-23)$$

又由于运算放大器输入电阻无穷大，几乎无电流流入，于是流经电阻 R_1 的电流全部流向电阻 R_F 。即：

$$i_F = i_1 \quad (1-24)$$

R_F 上的电流方向由左至右，这是因为反相放大器中，当 u_i 为正时， u_o 应为负的缘故。于是放大器的输出电压 u_o 为

$$u_o = -i_F R_F \quad (1-25)$$

由此可以求出反相放大器电压放大倍数 A_u

$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = -\frac{R_F}{R_1} \quad (1-26)$$

闭环使用时，放大器放大倍数仅仅由两个电阻的比值决定，与电源电压大小无关，所以非常稳定。

(3) 集成运算放大器的典型应用

集成运算放大器广泛应用于信号产生、信号变换和处理，也可用于加、减、乘、除的数学运算，使用十分方便。这里举几个简单的应用实例。

1) 比例运算放大器 图 1—16 所示为反比例运算电路，该电路输出电压与输入电压之比满足式 (1—26)。若取 $R_F = 100 \text{ k}\Omega$ ， $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ ，则放大器放大倍数为 100 倍，且输出电压与输入反相。

在反相运用时，放大器输入电阻就等于 R_1 ，输出电阻近似为零。

图 1—17 所示为同比例运算放大电路，信号 u_i 自同相端输入，输出信号与输入信号相位相同。经过简单计算，可以求出该放大器电压放大倍数

$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = 1 + \frac{R_F}{R_1} \quad (1-27)$$

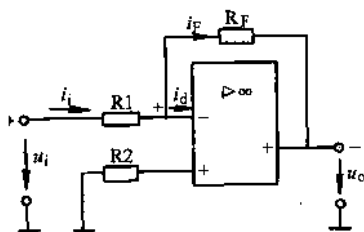


图 1—15 反相放大电路