

安装工人技术等级培训教材

# 电气安装工

● (中级工)

本培训教材编委会 组织编写

中国建筑工程出版社

安装工人技术等级培训教材

# 电 气 安 装 工

(中 级 工)

本培训教材编委会 组织编写

|             |     |     |     |   |
|-------------|-----|-----|-----|---|
|             | 钱大治 | 赵志修 | 主编  |   |
|             | 沈 超 | 丁 斌 | 石修仁 |   |
| 浙江省工业设备安装公司 | 于逢林 | 赵 宇 | 刘敏祥 | 编 |
|             | 朱应煌 | 傅慈英 | 赵志修 |   |
|             | 金 亮 |     |     |   |

中国建筑工业出版社

# **(京) 新登字 035 号**

本书是根据《安装工人技术等级标准》(JGJ43—88)中对电气安装工的应知应会要求编写的。内容主要有:电子技术基础电路,继电保护及信号,电力变压器安装及运行,三相异步电动机的运行及控制,电气设备预防交接试验及仪器、桥式起重机的电气设备控制,电梯的电气控制系统及安装调试,自控仪表及安装,特殊环境下的电气装置及其安装,变配电所的运行操作及管理,班组管理等。

本书叙述通俗易懂,内容翔实,实用性强,可作为电气安装工中级工的岗位培训教材,也可供施工技术人员参考。

**安装工人技术等级培训教材**

**电 气 安 装 工**

**(中 级 工)**

**本培训教材编委会 组织编写**

\*

**中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)**

**新 华 书 店 经 销**

**北京怀柔南华印刷厂印刷**

\*

开本: 787×1092 毫米 1/32 印张: 16¼ 字数: 364 千字

1995 年 9 月第一版 1995 年 9 月第一次印刷

印数: 1—10, 100 册 定价: 16.50 元

**ISBN 7-112-02125-1**

**TU · 1628 (7145)**

**版权所有 翻印必究**

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

## 出版说明

为贯彻落实建设部教育工作会议精神，认真搞好建设系统职工的培训工作，尽快提高建设系统职工队伍的技术素质，我司在中国安装协会的协助下，在注意吸收国内外先进培训经验的基础上，组织编写了本套“安装工人技术等级培训教材”。

该套教材覆盖了建筑安装十个主要工种。每个工种的教材按初级工、中级工和高级工三个等级编写，并附有一本《安装工人技术等级培训计划与培训大纲》与之配套，全套教材共计 31 种。

本套教材在编写时以《安装工人技术等级标准》(JGJ43—88)为依据，针对目前建设系统职工技术素质的实际情况和职工培训的实际需要，力求做到应知应会相结合。全套教材突出实用性，即侧重于全面提高职工的操作技能，辅以工人必须掌握的基本技术知识和管理知识，并较详细地介绍了成熟的、并已推广应用的新材料、新设备、新技术、新工艺。初、中、高三个等级的教材内容既不重复，又相互衔接，逐步深化。培训计划与培训大纲在编写时力求做到实用、具体，并列出了考核项目，供各地参照执行。

本套教材及培训计划与培训大纲已通过全国各地有关方面专家审定，现由中国建筑工业出版社出版，可供建筑安装工人培训、自学及技术竞赛之用。在使用过程中如发现问题，请及时函告我们，以便修正。

建设部教育司

# “安装工人技术等级培训教材”

## 编 委 会

主任委员：杨筱悌 强十渤 吴小莎

委 员 （以姓氏笔画为序）：王旭 卢建英  
刘克峻 李 忠 杨同起 张 崢  
张文祥 林汉丁 孟宪明 赵恒忱  
钱大治 蔡耀恺

# 目 录

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 一、电子技术基础电路 .....           | 1   |
| (一) 低频放大电路 .....           | 1   |
| (二) 直流放大电路 .....           | 19  |
| (三) 自激振荡电路 .....           | 34  |
| (四) RC 电路 .....            | 48  |
| (五) 晶体管的开关特性和稳态电路 .....    | 52  |
| (六) 门电路 .....              | 70  |
| (七) 可控硅整流电路 .....          | 78  |
| 复习题 .....                  | 96  |
| 二、继电保护及信号 .....            | 98  |
| (一) 常用继电器的结构及工作原理 .....    | 100 |
| (二) 6~10kV 输电线路保护 .....    | 112 |
| (三) 6~10kV 变配电变压器保护 .....  | 132 |
| (四) 6~10kV 分段母线保护 .....    | 132 |
| (五) 6~10kV 电力电容器保护 .....   | 132 |
| (六) 6~10kV 电动机保护 .....     | 136 |
| (七) 交流操作继电保护 .....         | 140 |
| (八) 备用电源自动投入装置 (BZT) ..... | 151 |
| (九) 直流操作电源 .....           | 156 |
| (十) 断路器控制回路及信号系统 .....     | 173 |
| (十一) 中央信号装置 .....          | 182 |
| 复习题 .....                  | 185 |
| 三、电力变压器安装及运行 .....         | 187 |
| (一) 安装前的施工准备工作 .....       | 188 |

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| (二) 变压器附件清扫和检查 .....         | 194        |
| (三) 变压器的密封检查及保管 .....        | 198        |
| (四) 变压器吊芯检查 .....            | 199        |
| (五) 变压器吊装就位及附件安装 .....       | 204        |
| (六) 变压器干燥 .....              | 211        |
| (七) 变压器油的处理 .....            | 219        |
| (八) 变压器投入运行前的检查和试验 .....     | 226        |
| (九) 变压器运行特性 .....            | 229        |
| 复习题 .....                    | 238        |
| <b>四、三相异步电动机的运行及控制 .....</b> | <b>240</b> |
| (一) 三相异步电动机运行原理 .....        | 240        |
| (二) 三相异步电动机机械特性 .....        | 244        |
| (三) 三相绕线式异步电动机起动控制线路 .....   | 249        |
| (四) 三相异步电动机运行中常见故障及处理 .....  | 256        |
| 复习题 .....                    | 259        |
| <b>五、电气设备预防交接试验及仪器 .....</b> | <b>260</b> |
| (一) 绝缘电阻和吸收比试验 .....         | 260        |
| (二) 直流耐压试验及泄漏电流测量 .....      | 265        |
| (三) 介质损失角的试验 .....           | 271        |
| (四) 局部放电试验 .....             | 274        |
| (五) 交流耐压试验 .....             | 278        |
| (六) 电动机变压器线圈的极性试验 .....      | 283        |
| (七) 接地电阻的试验 .....            | 287        |
| (八) 常用试验仪器和仪表简介 .....        | 291        |
| 复习题 .....                    | 295        |
| <b>六、桥式起重机的电气设备及控制 .....</b> | <b>297</b> |
| (一) 概述 .....                 | 297        |
| (二) 凸轮控制器及其控制线路 .....        | 305        |
| (三) 主令控制器及 PQR 型控制线路 .....   | 309        |
| (四) 电动机的过载和短路保护 .....        | 314        |

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| (五) 制动器与电磁铁 .....             | 318        |
| (六) 桥式起重机整机控制线路分析 .....       | 321        |
| (七) 吊车滑触线的安装 .....            | 324        |
| 复习题 .....                     | 325        |
| <b>七、电梯的电气控制系统及安装调试 .....</b> | <b>326</b> |
| (一) 概述 .....                  | 326        |
| (二) 继电器控制线路 .....             | 327        |
| (三) 电梯安装调试 .....              | 353        |
| 复习题 .....                     | 369        |
| <b>八、自控仪表及安装 .....</b>        | <b>370</b> |
| (一) 压力测量仪表 .....              | 370        |
| (二) 流量测量仪表 .....              | 381        |
| (三) 温度测量仪表 .....              | 395        |
| (四) 物位测量仪表 .....              | 403        |
| (五) 变送器的调校与安装 .....           | 411        |
| (六) 调节仪表的调校与安装 .....          | 418        |
| 复习题 .....                     | 424        |
| <b>九、特殊环境下的电气装置及其安装 .....</b> | <b>426</b> |
| (一) 环境的分类 .....               | 426        |
| (二) 环境条件对电气装置的影响 .....        | 429        |
| (三) 设计与环境保护 .....             | 434        |
| (四) 其他专用防护 .....              | 440        |
| (五) 安装与防护 .....               | 442        |
| 复习题 .....                     | 445        |
| <b>十、变配电所的运行操作及管理 .....</b>   | <b>446</b> |
| (一) 变配电所竣工变电应具备的条件 .....      | 446        |
| (二) 变配电所的运行制度 .....           | 446        |
| (三) 变配电所的运行管理 .....           | 455        |
| (四) 电气设备的倒闸操作 .....           | 458        |
| (五) 变配电所运行常见故障及处理 .....       | 472        |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 复习题 .....                   | 483        |
| <b>十一、班组管理 .....</b>        | <b>484</b> |
| (一) 组织建设 .....              | 485        |
| (二) 班组施工计划管理 .....          | 487        |
| (三) 班组质量管理 .....            | 489        |
| (四) 班组安全管理 .....            | 494        |
| (五) 班组材料、机具管理 .....         | 497        |
| (六) 班组经济核算 .....            | 503        |
| 复习题 .....                   | 508        |
| <b>附录 中级电气安装工技术标准 .....</b> | <b>509</b> |

# 一、电子技术基础电路

## (一) 低频放大电路

1. 单管低频小信号放大器：不论在生产和生活中，三极管放大器的用途都非常广泛，因为它具有体积小、运行可靠、寿命长、省电和携带方便等优点，在收音机、录音机、电视机、电话及自动化厂的检测和控制设备中都要用到它。

对于放大电路，有交流、直流之分，而对于交流放大电路又有低频和高频之分，我们讲的单管低频小信号放大器，它的工作频率范围在  $20\text{Hz} \sim 200\text{kHz}$ 。

对于一般的放大电路的基本要求是要有一定的放大倍数，有一定的通频带，即在一定的频率范围内的要求放大器具有相同的放大能力，放大器的信号失真小，工作稳定。

下面，我们叙述低频单管管小信号放大器的工作原理。如图1-1所示为一个最简单的共射极放大电路。图中  $T$  是一个NPN型三极管，担负着放大作用，是整个电路的核心； $E_c$  是集电极回路的电源，它为输出信号提供能量； $R_c$  是集电极负载电阻，通过它可以把电流的变化转换为电压的变化反映在输出端；基极电压  $E_B$  和基极回路电阻  $R_b$  不但为发射极提供正向偏置电压，而且还决定了基极电流  $I_B$ ， $I_B$

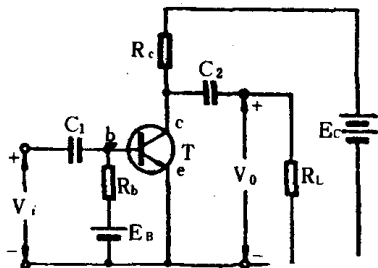


图 1-1 共射极基本放大电路

的大小对于放大作用的好坏有密切的关系。为了使三极管能够工作在正常的放大状态，必须保证集电结反向接法，发射结正向接法，并且  $E_c$ 、 $E_b$ 、 $R_c$ 、 $R_b$  之间要有一定的配合。

$C_1$  和  $C_2$  的作用是隔直通交。因为一个放大电路的输入端和输出端经常有一个固定的电压存在，当我们不希望将这个电压引到信号源或负载时，就需采取隔离措施，但还要使信号能顺利地通过，所以选用了电容器。 $C_1$  和  $C_2$  通称为隔直电容或耦合电容。

通过上述讨论，可以得出组成放大电路时必须遵循的几个原则：

第一，电源的极性必须使发射结处于正向偏置而集电结处于反向偏置，以保证三极管处于放大状态，即对 NPN 型管应使  $V_{BE} > 0$ ， $V_{BC} < 0$ 。

第二，输入回路的接法，应当使输入的变化电压产生变化电流  $i_b$ （或  $i_e$ ），因为  $i_b$ （或  $i_e$ ）直接地控制着  $i_c$ 。

第三，输出回路的接法，应当使  $i_c$  尽可能多地流到负载上去，减少其他支路的分流作用。

第四，为了保证放大电路的正常工作，必须在没有外加信号时，使放大管处于放大状态，还要有一个合适的工作电压和电流，我们称之为设置合理的静态工作点。

为了防止放大器的“非线性失真”，要设置静态工作点。那么，什么是“非线性失真”呢？从图 1-2 可以看出，当我们在输入端加上一个正弦交流信号时，由于 b-e 结只能单向导通，而且输入特性开始一段的非线性很严重，就使得  $i_b$  不能按比例地跟着输入电压的大小而变化，结果， $i_b$  和  $i_c$  的波形就全不是正弦波了。我们把这个现象称为放大电路的“非线性失真”。

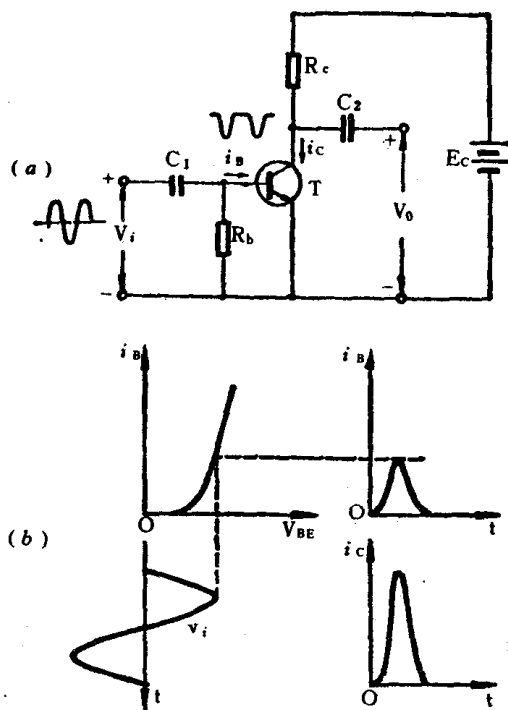


图 1-2 放大电路零偏流时的情况

(a) 零偏流电路；(b) 波形图<sup>①</sup>

性失真”。为了减少非线性失真，可想而知： $i_B$  不但应该在输入电压的正半周随着输入电压的增大而增大，而且还必须能在输入电压的负半周时也随着输入电压的减少而减小。为此，在没有加入信号以前， $i_B$  的数值就不能取零。我们就把在没有  $i_B$  之前放大电路各处的电压 ( $V_{BE}$ 、 $V_{CE}$ ) 和电流 ( $I_B$ 、 $I_C$ ) 值所代表的输入和输出特性上的一点称为静态工作点。

<sup>①</sup> 由于波形图中反映的是瞬时总值，所以在特性曲线上也标出瞬时总值，以后均按此原则处理。

静态工作点可以由电路求得，将图 1-1 改画成图 1-3 所示，可以得出：

$$I_B = \frac{E_C - V_{BE}}{R_b} \approx \frac{E_C}{R_b} \quad (1-1)$$

$$I_C = \beta I_B \quad (1-2)$$

$$V_{CE} = E_C - I_C R_c \quad (1-3)$$

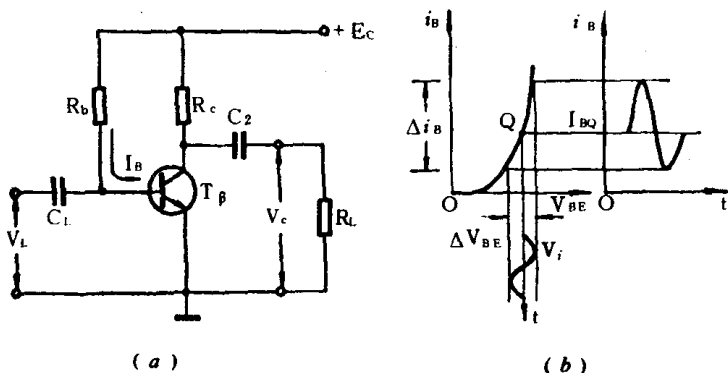


图 1-3 放大电路位置静态工作点的情况

(a) 偏流的设置；(b)  $i_B$  的波形

静态工作点也可以用作图法求出，如图 1-4 所示，图中的斜线称为直流负载线，它是由公式 1-3 作出，当  $I_C = 0$  时， $V_{CE} = E_C$  得出 N 点，当  $V_{CE} = 0$  时， $I_C = E_C / R_c$  得出 M 点，MN 即为直流负载线。直流负载线 MN 与对应  $I_B$  的输出特性曲线的交点 Q 就是静态工作点，由 Q 点在横轴上的投影得到  $V_{CE}$  的值，在纵轴上的投影得  $I_C$  的值。

静态工作点设置要合理，若设置过高，放大器就会出现饱和失真，而设置过低则会出现截止失真，这对于放大器来说是不能允许的，而在数字电路中，就会用到三极管的这种

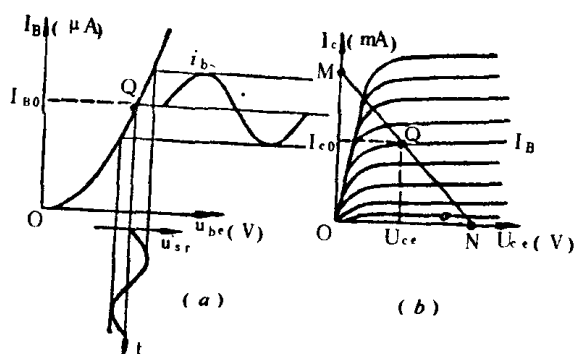


图 1-4 从输入、输出特性曲线看静态工作点

特性。

那么，单管小信号放大器是怎样实现放大功能的呢？如

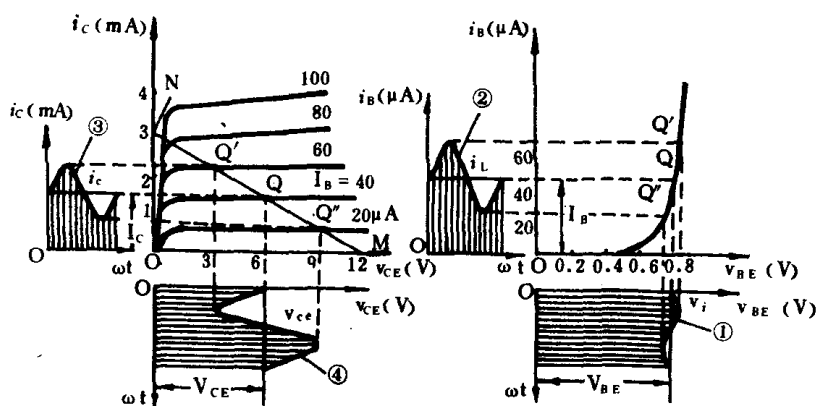


图 1-5 有输入信号时放大器工作情况的图解

图 1-5 所示，由图中可以清楚地看出，输入的小信号电压  $V_i$ （即图线①）先转变为基极电流  $i_b$ （即图线②），又  $i_c = \beta i_b$ ，所以基极电流  $i_b$  的变化就影响了集电极电流  $i_c$ （即图线③）的变化，从而影响  $V_{CE}$  的变化， $V_{CE}$  中的交流量  $V_{ce}$  的波形就是输出

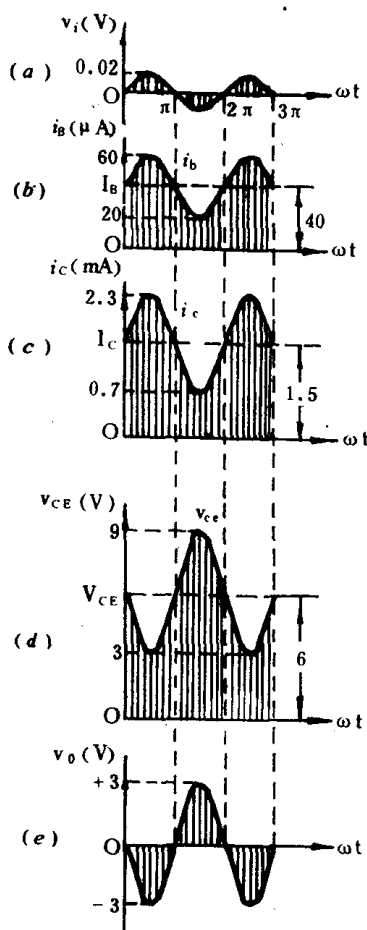


图 1-6 图 1-5 中电流电压的  
波形图

电压  $V_o$  的波形。(即图线④)。如果我们将这些电流电压的波形画在对应的时间轴上,便可得到图 1-6 所示的波形图。

从图中可以看出,输出电压  $V_o$  的幅度比输入电压的幅度大得多,同时  $V_o$  与  $V_i$  是同频率的正弦波,也就是说  $V_i$  经过电路后放大了,而且放大后没有改变原来的形状。从图 1-6 (a) 和图 1-6 (e) 可以看出,输出电压  $V_o$  和输入电压  $V_i$  相位相差  $180^\circ$ ,这是由于当  $V_i$  增加时,  $i_c$  是增加的,所以三极管的管压降  $v_{CE} = E_C - i_c R_C$  将随着  $i_c$  的增加而减小,经过隔直电容  $C_2$  后的交流输出电压  $V_o$  恰好与输入电压  $V_i$  相位相反,这种现象称为放大器的“倒相”作用。

衡量放大器的主要性能指标有放大倍数、输入阻抗、输出阻抗、非线性失真、频率失真以及输出功率和效率等。这里主要介绍放大倍数、输入阻抗和输出阻抗。

如图 1-3 所示的电路,它的电压放大倍数用  $A_v$  表示,用

$R_i$ 、 $R_o$  表示放大电路的输入、输出电阻，则有下列公式：

$$A_v = -\beta \frac{R_L'}{r_{be}} \quad (1-4)$$

$$R_i = r_{be} // R_b \quad (1-5)$$

$$R_o \approx R_c \quad (1-6)$$

上列公式中的  $r_{be}$  为三极管的输入电阻，它可以通过相关仪器测出，1-4 式中的  $\beta$  为三极管的电流放大系数，负号表示输出信号与输入信号倒相， $R_L'$  为  $R_c$  与负载电阻  $R_L$  的并联电阻值。若信号源的内阻为  $R_s$ ，那么 1-4 式可以变为：

$$A_{vs} = -\frac{\beta R_L'}{r_{be}} \cdot \frac{R_i}{R_s + R_i} \quad (1-7)$$

$A_{vs}$  称为对信号源的电压放大倍数或称为源电压增益。

对  $A_v$ 、 $R_i$ 、 $R_o$  的选择要根据实际情况来定，一般  $A_v$  不宜太大， $R_i$  大一些好， $R_o$  要小一些。

上面介绍的放大电路是共射极电路，下面简单介绍一下一种在多级放大器中为了获得较高的输入电阻和较低的输出电阻的放大电路，即共集电极电路，如图 1-7 所示。这种电路的输入阻抗很高，比共射极电路大几十倍到几百倍，而输出阻抗较低，约为几十欧，放大倍数  $A_v < 1$ ，且接近于 1，而且输出、输入电压同相，故这种电路又称为射极输出器。它一般多用作多级放大器中的输入级和输出级，作为阻抗变换器之用。下面讨论多级放大器。

2. 多级放大器：在实际应用中，往往需要把微弱的信号放大到足够的强度以推动负载，单管放大器的放大倍数一般只有几十到几百倍，输出的电压和功率有限，因此，需要多级放大器。多级放大器的组成方框图如图 1-8 所示，图中带动负载  $R_L$  的末级，通常称为功率放大器，前面几级用以放大微

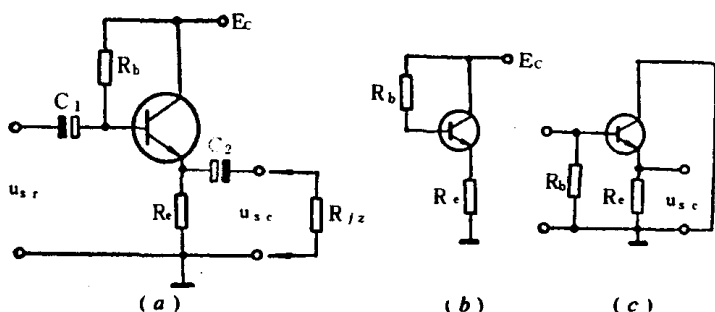


图 1-7 射极输出器

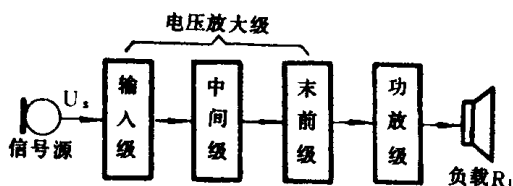


图 1-8 多级放大器的方框图

弱信号的称为电压放大器。

电压放大的一般属于小信号放大，而功率放大级属于大信号放大。

对多级放大器的分析可以采用“化整为零”的方法，即先将每一级按单管放大器进行分析，并考虑前后级的影响，然后再将结果综合起来。它可遵循的原则是：总的电压放大倍数等于各级电压放大倍数的乘积，级间的相互关系表现为各级的输入和输出电阻之间的关系，即前一级的输出信号可以看成后一级的输入信号，而后一级的输入电阻又是前一级的负载电阻。

低频的多级放大器的工作频率在几十赫到几十千赫范围