

● 新型电子电路应用指南

信号放大电路

● 杨世成 编著

● 电子工业出版社



新型电子电路应用指南

信号放大电路

杨世成 编著

电子工业出版社

(京)新登字 055 号

内 容 提 要

《新型电子电路应用指南》丛书中的《信号放大电路》分册是专门阐述集成放大器及其在信号放大方面应用的专著。其主要内容包括:各种类型的集成放大器,集成放大器用作信号放大时的基础知识,集成放大器使用时的基本常识,集成放大器在信号放大方面的应用等。全书共分六章。

本书可供从事集成放大器应用的中级以上科技人员参考,也可作为高等院校电子工程、自动化、检测技术及仪器仪表、无线电等专业的教学参考书。

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 9.125 字数 245.2 千字

1995 年 4 月第一版 1995 年 4 月北京第一次印刷

印数:6000 册 定价:11.00 元

ISBN 7-5053-2537-X/TN·746

编 委 会

主 任 谢沅清

副主任 赵学泉

编 委 (按姓氏笔画排序)

华正权 杨世成 张乃国 张国华

郭 斌 解月珍

序 言

本丛书是为应用电子电路的工程技术人员提供一些必备的基础知识而编写的。

目前公开出版的电子电路书籍有两类,一类是教科书,一类是应用手册。教科书偏重于理论,而且由于受到学时和篇幅的限制,只能讲述一些主要的基本电路。众所周知,一个实用的电路,往往比原理性电路要复杂一些。初出校门的读者,阅读实际电路,或是自己设计一个实用电路,仅依靠教科书上介绍的电路知识,有一定的困难。而在许多电子电路手册或是电子电路集锦中,往往只给出电路及其所能实现的功能,原理阐述不够。不利于读者灵活变通应用。本丛书试图弥补上述不足,确定了如下的编写宗旨。

1. 考虑到本书的主要读者对象是中专以上水平的工程技术人员和电子爱好者,他们和教科书的读者——很少接触电子电路实际的青年学生不同,具体地说,这些读者或多或少有一些电子电路方面的基本知识。另一方面,相当多的一部分读者不一定具备高等数学基础。因此,本书讲述基础知识时,并不是所有基本理论都从头讲起,对有些问题的讲述,其起点比一般的教科书略高一些,编写时尽量避免应用较深的数学分析和推导,而是注重定性分析和工程估算。

2. 和教科书稍有不同的是,本丛书着重讲述和实际应用有关的理论,介绍一些经验公式和数据。书中还适当附上部分常用元器件的特性数据及选型原理。讲述设计时,不强调从头到尾的通盘设计和精确计算,偏重于利用参考电路作一些局部修改以适应实际需要的工程计算。还适当介绍某些调测电路的方法。

3. 本丛书的选材着眼于目前国内普遍应用的电路。对于一些已经过时,虽然在部分陈旧设备中还有应用的电路,则不予选用。

本丛书第一批选题内容的安排以信号流程为主线,分为信号产生、信号放大、信号处理、信号变换、测量、电源及数字逻辑电路七个分册。每一分册相对独立、不存在某一分册为其它分册打基础的问题。

本丛书在动笔前,编委会曾多次集会研讨编写宗旨,内容深度、广度、制定出各分册的编写要求和大纲,并对若干分册的样章进行过讨论。各分册初稿完成后,由主编一一过目,各分册均确定了审稿人,提出修改意见,返回作者修改定稿。但由于各分册作者工作较忙,无法集中长时间进行写作,还由于水平有限,书成后未能全部达到预期目的。书中还难免出现这样或那样的缺点甚至错误,敬希广大读者批评指正。

编者

1994年1月

前 言

集成放大器及其在信号放大方面的应用是当今模拟电子技术的重要内容,为了满足广大从事集成放大器应用方面科技人员的需求,我们编写了《新型电子电路应用指南》丛书中的《信号放大电路》分册。

全书共有六章,第一章介绍放大器的功能及其主要技术指标。第二章集成放大器中的单元电路,介绍各类集成放大器中常用的单元电路的工作原理。第三章介绍各种通用型和专用型集成放大器的电路特点及其主要性能参数。第四章集成放大器用作信号放大时的基础知识,着重介绍集成放大器反馈的基本理论和使用集成放大器时的基本知识。第五章讲述集成放大器在信号放大方面的各种应用电路。第六章放大电路的调试与故障诊断,着重介绍了放大电路的调试方法和放大电路故障的简易诊断,并列举出放大电路故障查找实例,供读者参考。为了方便读者正确选择和合理使用集成放大器,本书对各类集成放大器的主要性能参数,使用极限值,引出端排列图以及国产集成放大器主要产品索引,国内外同类集成放大器产品型号对照等都有较完整的介绍。

在编选本书内容时,力求体现以下几方面的特色:

一、先进性。集成放大器具有体积小、功耗低、寿命长、可靠性高以及使用灵活方便等一系列优点,在很多应用领域分立放大电路已经或正在被集成放大器所替代。而本书所选择的内容全是集成放大器。

二、系统性。随着集成工艺水平的不断提高,集成放大器的类型越来越多,本书不仅介绍了各种通用型集成放大器的典型产品,还较完整地介绍了各种专用型集成放大器的典型产品。力求体现

集成放大器的完整和系统性。

三、实用性。集成放大器的应用领域越来越广泛,本书重点阐述了关于集成放大器用于信号放大方面的基础理论、基本知识、实用电路、调试方法、故障诊断以及各种集成放大器的主要技术资料。力求体现集成放大器的实用性。

本书可作为从事集成放大器应用的中级以上科技人员的自学参考书,也可作为高等院校电子工程、自动化、检测技术及仪器仪表、无线电等专业的教学参考书。

在编写本书的整个过程中李东升、张永军、杨飏等同志在素材收集、整理、实验、绘图等方面协助完成了许多工作。北京邮电学院谢沅清教授给予了具体的帮助和指导,并对全书进行了详细的审阅。还得到了电子工业出版社领导和责任编辑的热情支持,谨在此一并致谢。

由于编者的能力和水平所限,书中的缺点和错误在所难免,恳请各位读者多加批评指正。

编者

一九九四年三月

于北京科技大学自动化信息工程学院

目 录

第一章 放大器的功能及其主要技术指标	1
1.1 什么是放大器	1
1.2 放大器的主要技术指标	3
第二章 集成放大器中的单元电路	12
2.1 模拟集成电路的特点	12
2.2 电流源电路	19
2.3 电压源电路	35
2.4 直流电平移动电路	38
2.5 单管放大电路	39
2.6 差动放大电路	51
2.7 双端-单端转换电路	65
2.8 输出级电路	69
2.9 输出级的过载保护电路	73
第三章 集成放大器	77
3.1 通用型集成放大器	77
3.2 集成放大器的主要性能参数	99
3.3 专用型集成放大器	106
第四章 集成放大器用作信号放大的基础知识	153
4.1 集成放大器的等效电路	153
4.2 用作信号放大时集成放大器的反馈	155
4.3 集成放大器使用时的基本常识	192
第五章 集成放大器在信号放大方面的应用	201
5.1 直流放大电路	201
5.2 求和放大电路	216

5.3 电压-电流线性变换电路	223
5.4 交流电压放大电路	235
5.5 特殊放大电路	241
第六章 放大电路的调试与故障诊断	248
6.1 放大电路的调试	248
6.2 放大电路故障的简易诊断	257
6.3 放大电路的接地	259
6.4 放大电路的降噪措施	264
6.5 放大电路故障查找实例	269
附录 I. 我国集成放大器型号命名方法	275
附录 II. 我国集成放大器主要产品索引	276
附录 III. 国内外同类集成放大器产品型号对照	278
参考文献	282

第一章 放大器的功能及其主要技术指标

1.1 什么是放大器

一、放大及其实质

众所周知,“放大”这个概念在很多场合都会用到。比如,在光学中利用放大镜将微小的物体放大成较大的形象以便人们对其进行观察和分析;在电磁学中利用升压变压器将交流低电压变换成高电压以满足人们对电压大小的要求;在电子学中利用扩大机将较弱的说话声音放大成较强的说话声音以满足人们对声音强度的要求。

简而言之,放大就是由小变大、由低变高、由弱变强的现象,而且所有这些放大现象都有一个共同的特点,那就是放大的对象都是物理量的差异或变化量,如放大镜放大的是原物体中各点之间的距离;变压器放大的是电压的变化量;扩大机放大的是声音的变化量。

我们这里所研究的是电子学中的放大,电子学中的放大对象是变化的电量,变化的电量称为电信号,简称为信号,它可以是电压信号也可以是电流信号。将微弱的电信号增大到可以观察或利用程度的技术称为电子学中的放大技术,简称为放大。放大技术在电子学领域,特别是在模拟电子学领域中应用极为广泛。实现电信号放大功能的电子电路称为放大电路或放大器,放大器是电子电路特别是模拟电子电路中的主干电路,它本身类型很多,应用十分广泛,由它派生或演变的各种功能的电子电路类型也就更多,应用也十分广泛。因此,掌握好放大器的基本知识是掌握模拟电子技术

的基本功内容。

下面我们对放大器作进一步的理解。

以干电池供电的便携式收音机为例,当接通电源开关后,从天线接收来的电信号首先经过调谐、变频、中放、检波得到一个微弱的音频电信号,再经过音频放大器放大后供给扬声器(负载)足够的信号功率使扬声器发出声来。显然音频放大器的输入信号能量较弱,而其输出信号能量较强。那么这个较强的输出信号能量从何而来?显然当我们把干电池从收音机中取出或将电源开关断开,扬声器就不会发出声来,这表明音频放大器输出端没有输出信号,更谈不上有足够的信号功率。因此,要使放大器实现信号放大必须给放大器加上一个电能源(在收音机中就是直流电源如干电池),这样,放大器在弱的输入信号作用下,将直流电源的直流功率转换为负载所需要的足够强的输出信号功率。所以放大作用实质上是一种能量的控制或转换作用。尽管不同的负载对放大器输出信号的要求不同,有的着重于要求得到一定的信号电压,有的着重于要求得到一定的信号电流,也有的既要求得到一定的信号电压,又要求得到一定的信号电流,但它们放大的实质是相同的。而前面所说的放大镜的放大和升压变压器的放大都不具有能量控制或转换的特点,它们都必须遵守能量守恒原理,这就是电子学中的放大与其它场合中的放大在本质上的区别。

二、放大与失真

我们知道放大器所以能实现能量的控制或转换是因为在放大器中有晶体管或场效应管或集成放大器等具有放大作用或能量控制作用的半导体放大器件。这些具有放大作用或能量控制作用的器件称为有源器件。然而这些有源器件实际上都是非线性器件,因此由它们构成的放大器在实现放大的过程中必然会产生非线性失真,所谓非线性失真是指由于有源器件的非线性特性使放大后的信号波形与放大前的信号波形不一样。而我们要求的放大应该是放大后的信号波形与放大前的信号波形相似或基本相似,因此,放

大与失真是放大器中相互矛盾的两个方面,在一定的条件下,若失真超过允许的范围,则失真将成为矛盾的主要方面,这时放大就失去了意义。相反,若失真在允许的范围之内,则放大将成为矛盾的主要方面,只有在这种情况下,放大才有意义。因此我们所说的放大应该是基本不失真的放大。

1.2 放大器的主要技术指标

为了表征放大器的特性,衡量放大器的性能,通常都用放大器的技术指标加以说明。表征放大器特性的指标称为特性指标,衡量放大器性能的指标称为性能指标,并把它们统称为技术指标。这些技术指标可以根据放大器的具体电路通过分析计算而获得,也可以通过实验测试而获得。

放大器技术指标的分析计算方法通常是将放大器视为二端口网络,并在一定的条件下将放大器中的有源器件用线性元件来等效,然后利用解线性二端口网络的电路定律去求解。

放大器技术指标的实验测试方法通常是在放大器的输入端口加上正弦波信号进行测量。如图 1-1 所示。

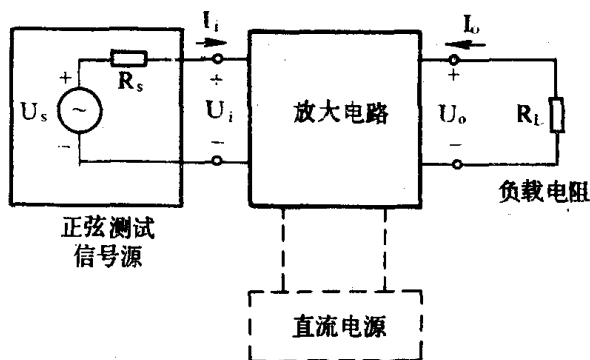


图 1-1 放大器技术指标测试电路

图 1-1 中 U_s 为测试信号正弦电压有效值, R_s 为信号源内阻或串联的外接电阻, R_L 为接在放大器输出端口的负载电阻, U_i 和 I_i 分别为放大器输入端口的信号电压和电流有效值, U_o 和 I_o 分别

为放大器输出端口的信号电压和电流有效值,以上这些信号的假定正方向如图所示。虚线部分为放大器的直流供电电源,为了突出放大器的主要结构也可不画电源部分。在此需要特别指出的是放大器实际上的输入信号往往是很复杂的,甚至是无规律的,对于这样的信号通常都不便于测量和比较。然而,一个变化的信号波形可以视为由多个不同幅值、不同频率的正弦谐波信号叠加而成,因此对于一个实际信号的放大,可以看成是组成这个信号的各次谐波分别放大并叠加起来的过程。在基本不失真的条件下,放大器可等效为线性电路,在正弦信号激励下的线性电路各处的电压和电流信号都是与输入的正弦信号同频率的正弦波,只是幅值和相位可能有所差别,而且正弦波信号容易获得,也容易测量和比较,所以放大器技术指标的实验测试方法通常采用正弦波作为激励信号。

放大器的技术指标较多,下面就其主要技术指标分别加以介绍。

一、放大倍数或增益

放大倍数是衡量放大器放大能力的性能指标。它定义为放大器的输出信号与输入信号之比,该比值若换算为分贝则称之为增益。虽然放大器都能实现信号功率的放大,然而由于在不同的场合下负载对输出信号要求的侧重点不同,另外,输入信号可能是电压信号也可能是电流信号,因此放大器的放大倍数或增益常用的有以下两种类型。

(一) 电压放大倍数 A_{uu} 或 A_u

A_{uu} 定义为

$$A_{uu} = \frac{U_o}{U_i} \quad \text{可简化为} \quad A_u = \frac{U_o}{U_i} \quad (1-1)$$

(二) 电流放大倍数 A_{ii} 或 A_i

A_{ii} 定义为

$$A_{ii} = \frac{I_o}{I_i} \quad \text{可简化为} \quad A_i = \frac{I_o}{I_i} \quad (1-2)$$

上面各定义式中的 U_o 、 I_o 、 U_i 、 I_i 用英文大写字母表示是正弦信号的有效值, 根据需要, 也可以是振幅或增量值。

除了上面介绍的放大倍数外, 有时可能用到源电压放大倍数 A_{uus} 或 A_{us}

A_{uus} 定义为

$$A_{uus} = \frac{U_o}{U_s} \quad \text{可简化为} \quad A_{us} = \frac{U_o}{U_s} \quad (1-3)$$

另外还有功率放大倍数 A_p

A_p 定义为

$$A_p = \frac{P_o}{P_i} = \frac{U_o I_o}{U_i I_i} = A_u \cdot A_i \quad (1-4)$$

上述各种放大倍数, 在用实验方法测量时, 一定要在放大器输出端有监视失真的措施(如用示波器观察波形), 若输出波形出现明显失真, 测量所得到的放大倍数就没有任何意义。其它技术指标的测量也是如此。

放大倍数的具体测试方法, 读者可参考有关文献^①。

二、输入电阻

放大器输入端口加上输入信号源后, 将要向信号源索取信号电流, 该电流的大小表明放大器对信号源的影响程度。我们用一个等效输入电阻 R_i 来衡量放大器对信号源的影响程度。

R_i 定义为

$$R_i = \frac{U_i}{I_i} \quad (1-5)$$

由图 1-1 和 R_i 的定义可知, R_i 实际上就是从放大器输入端口向放大器看进去的等效电阻。 R_i 越大, 表明它从信号源索取的信号

① 可见[1]30~34 页

电流越小,放大器输入端口所得到的信号电压 U_i 越接近源信号电压 U_s 。因此作为测量仪表用的电压放大器,希望它的 R_i 越大越好。而有的场合却要求 R_i 越小越好。所以对 R_i 的要求应视具体应用场合不同而异。

R_i 的实验测试方法,读者可参考文献^①。

三、 输出电阻

利用戴维南定理,从放大器输出端口向放大器看进去可用一个电压源和一个内阻相串联来等效,这个等效内阻就是放大器的输出电阻,用 R_o 来表示。如图 1-2 所示。

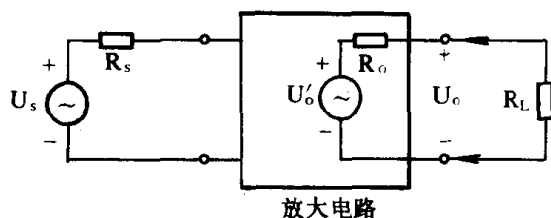


图 1-2 放大器输出端口的等效电路

图 1-2 中 U'_o 为负载 R_L 开路时输出端口的信号电压。

R_o 常用的实验测试方法是在放大器输入端口加上正弦电压测试信号,测出负载 R_L 开路时的输出端口电压 U'_o ,再测出接入已知负载 R_L 时的输出端口电压 U_o ,显然 R_o 的计算公式是

$$R_o = \left(\frac{U'_o}{U_o} - 1 \right) R_L \quad (1-6)$$

R_o 的分析计算方法是將 R_L 开路,独立的输入信号电压源短路,独立的输入信号电流源开路,它们的内阻 R_s 保留,在放大器的输出端口外加一个正弦信号电压 U_o ,通过对放大器交流等效电路的分析计算求得相应的输出端口电流 I_o ,然后计算出 U_o 与 I_o 的比

① 可见[1]40页

值,即可求得 R_o 的大小。简单地可表示为

$$R_o = \frac{U_o}{I_o} \bigg|_{\substack{R_L = \infty \\ U_S = 0 \text{ 或 } I_S = 0, R_S \text{ 保留}}} \quad (1-7)$$

由图 1-2 可以看出,对于电压放大器来说, R_o 越大,表明接上负载后输出信号电压值下降越多, R_o 越小,表明接上负载或在负载改变时,输出信号电压值下降或变化越小。因此, R_o 的大小是衡量电压放大器带负载能力大小的技术指标。然而对电流放大器来说, R_o 越小表明接入负载后输出电流值下降越多, R_o 越大表明接入负载或在负载改变时,输出信号电流值下降或变化越小。因此对 R_o 大小的要求也应视具体应用场合不同而异。

四、 频率特性指标

所谓放大器的频率特性是指放大倍数与信号频率之间的关系特性。由于放大器中存在着电抗性元件(包括有源器件的极间电容,放大器的分布电容等),对于不同频率的信号,放大倍数的大小是不会相同的,其相位是不会成比例的。我们把放大倍数的大小随频率变化的特征称为幅频特性;把放大倍数的相位随频率变化的特性称为相频特性。幅频特性和相频特性综合起来就是放大器的频率特性。显然,放大器的频率特性可以用来衡量放大器对于不同频率信号的放大能力。通常情况,放大器只适用于放大某一个特定频率范围的信号,当信号频率太高或太低时,放大倍数的大小都有大幅度的下降,图 1-3 为某一个放大器的幅频特性。

图 1-3 中的 A_{um} 为放大器中频段的电压放大倍数。由图 1-3 所示的幅频特性可知,当信号频率升高,使放大倍数下降为中频段放大倍数 A_{um} 的 0.7 倍时,这个频率称为上限截止频率,用 f_h 表示。同样,当信号频率降低,使放大倍数下降为 A_{um} 的 0.7 倍时,所对应的低频信号频率称为下限截止频率,用 f_l 表示。把 f_h 和 f_l 之间的频率带称为通频带,用 $BW_{0.7}$ 表示,显然,

$$BW_{0.7} = f_h - f_l \quad (1-8)$$

通频带 $BW_{0.7}$ 越宽,表明放大器对信号频率的适应能力越强。