



普通高等教育“十一五”国家规划教材



21 世纪电工电子学课程系列教材

电子技术实用教程

(工科类) (第2版)

主 编 李 飞

副主编 寻小惠 谢平凡

中南大学出版社
www.csupress.com.cn

普通高等教育“十一五”国家规划教材
21世纪电工电子学课程系列教材

电子技术实用教程

(工科类)

(第2版)

主 编 李 飞

副主编 寻小惠 谢平凡

中南大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电子技术实用教程:工科类/李飞编.—2版—长沙:中南大学出版社,2008.8

(21世纪电工电子学课程系列教材)

ISBN 978-7-81105-768-3

I. 电... II. 李... III. 电子技术—高等学校—教材
IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 116745 号

电子技术实用教程

(工科类)

(第2版)

主 编 李 飞

副主编 寻小惠 谢平凡

☐责任编辑 肖梓高

☐责任印制 汤庶平

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-8876770

传真:0731-8710482

☐印 装 湖南省地质测绘印刷厂

☐开 本 730×960 1/16 ☐印张 19.75 ☐字数 369 千字

☐版 次 2008 年 7 月第 2 版 ☐2008 年 7 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-81105-768-3

☐定 价 32.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

21 世纪电工电子学课程系列教材编委会

主 任 陈明义

成 员(以姓氏笔画为序):

文援朝 李 飞 刘 辉 陈明义 陈 宁
宋学瑞 罗桂娥 赖旭芝 覃爱娜

总 序

我的面前摆放着十多本封面五颜六色的电工电子学系列课程教材,它们是中南大学信息科学与工程学院电子科学与技术系电工电子学系列课程教学团队多年辛勤劳动和教学实践的结晶。

电流所经过的路径叫电路。大学生学习(电工电子)电路课程的意义犹如行人、游人、司机学习行路知识和人们探求人生之路的真谛一样重要。无论是“电路”、“前进道路”还是“人生道路”,都有一个“路”字。俗话说,“路是人走出来的”。人生之路是探索出来的,行路见识是体验出来的,电路知识是学习得来的。研究发现,人类社会的许多自然现象、科技和人文问题都可用电路的方法来模拟,人类自身的许多活动和智能行为也可用电路的方法通过硬件与软件来模仿。因此,电工电子学系列课程作为技术基础课程对高校人才培养所起的重要作用是不言而喻的。电工电子学的基础知识、基础理论和基本技能正通过教学活动和人的智能活动向各个学科领域扩展和渗透,发挥着越来越大的作用。通过本系列课程学习,学生能够获得关于电工电子学的基本理论、基本知识和基本技能,为后续专业课程的学习和毕业后参加工作打下基础。

现由中南大学出版社出版的这套电工电子学系列教材,是根据电工电子学系列课程教学体系而编写的,其教学目标在于培养学生的创新能力,满足不同专业学生的培养要求和个性化人才培养的需求。该系列教材分为3大类别:第1为基础知识类,第2为扩展知识类,第3为实践技能类。其中,基础知识教材又分为电类、机电类、非电类、文理类4个层次共9个模块;扩展知识类教材主要是电工电子学新知识的扩展与延伸,共有10个模块;实践技能类教材分为实验、实习和课程设计3个模块。

中南大学信息科学与工程学院电子科学与技术系教学人员在全校电工电子学系列课程教学中取得了不俗成绩。2002年电工电子学系列课程获得湖南省优秀课程;2005年电工电子学教学实验中心获省级示范实验中心,2007年电工电子学实习基地被评为省级优秀实习基地。现在3门课程获得校级精品课,1门课程获得省级精品课,3部教材获得“十一五”国家规划教材。他们还获得省级教学成果一等奖2项、二等奖1项、三等奖1项;参加该系列课程学习的6名学生获得全国大学生电子设计竞赛一等奖,12名学生获得全国大学生电子设计竞赛二等奖,3名学生获得第二届“博创杯”全国大学生嵌入式设计大赛二等奖,

2 名学生获全国大学生“挑战杯”创业大赛金奖。这些成果不仅表明这支电工电子学系列课程教学团队具有很强的实力和很高的水平,而且也从一个侧面反映出该系列课程教学的丰硕成果。

这套电工电子学系列教材的编写精益求精,内容系统全面,取材新颖,反映了本学科及其教材研究和应用的新进展,值得进一步推广使用。我相信,该系列新版教材的问世和使用,将为我国电工电子学科和教材的发展做出更大的贡献。

蔡自兴

中南大学教授、博士生导师
全国高等学校首届国家教学名师
国际导航与运动控制科学院院士

2008 年 6 月 5 日

于长沙岳麓山下

第2版 前言

电子技术是一门非常重要的专业基础课。为了适应电子技术的飞速发展、培养 21 世纪工程技术人才的需要,本书注重基础,精选内容,力求做到原理分析简明、理论联系实际。本书是按先器件后电路、再系统的原则编写的,做到突出主干、启发引导、承前启后、相互呼应和知识性统一,从而加强学生的综合应用能力和个性化的培养。

全书共 10 章。第 1 章介绍了信号与系统的概念,逻辑代数和逻辑函数的化简以及放大电路的性能指标;第 2 章讨论了半导体二极管、三极管、稳压管、场效应管以及理想运算放大器的工作原理及特性;第 3 章阐述了基本放大电路的组成及工作原理,重点讨论了基本放大电路的分析方法;第 4 章内容包括反馈的概念、类型和判别方法,讨论了负反馈对放大电路性能的影响;第 5 章的内容包括门电路和触发器,触发器的逻辑功能、电路结构与动作特点;第 6 章叙述了信号运算及处理电路,介绍了信号运算电路和处理电路的工作原理和分析方法;第 7 章的内容为整流、滤波和稳压电路的工作原理;第 8 章为中规模组合逻辑电路及其应用;第 9 章讨论了时序逻辑电路的分析和设计方法与应用;第 10 章介绍了存储器 ROM、RAM 和可编程逻辑器件的结构框图和工作原理与应用,最后介绍了 A/D、D/A 变换器的工作原理。

本书作为“十一五”国家规划教材,尽量展现现代电子新技术。本书可作为高等工科院校电工、电气、计算机、机电等专业的技术基础教材,亦可作为高等职业技术学院的基础教材,学时数为 80 学时。

本书由李飞任主编,寻小惠、谢平凡任副主编。其中,李飞编写第 1 章、第 5 章、第 6 章和第 10 章;寻小惠编写第 2 章、第 3 章和第 4 章;谢平凡编写第 7 章、第 8 章和第 9 章。全书最后由李飞统稿和定稿。

本书在编写过程中,得到了覃爱娜、陈明义、罗桂娥、宋学瑞等同志的大力支持并提出了很多宝贵的意见,在此表示诚挚的谢意。

全国高等学校首届国家教学名师、国际导航与运动控制科学院院士蔡自兴教授在百忙之中为本套书写序,值此表示深深的谢意!

由于编者水平有限,书中难免有不妥和错误之处,殷切期望读者批评指正。

编 者

2008 年 6 月

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 信号与系统	(1)
1.2 模拟信号及其放大	(2)
1.3 数字信号及逻辑代数	(8)
本章小结	(30)
复习思考题	(31)
第2章 基本电子器件	(33)
2.1 半导体的基础知识	(33)
2.2 半导体二极管	(36)
2.3 特殊二极管	(39)
2.4 双极型晶体管	(41)
2.5 场效应晶体管	(48)
2.6 集成器件	(51)
本章小结	(58)
复习思考题	(58)
第3章 基本放大电路	(62)
3.1 基本放大电路	(62)
3.2 共集和共基放大电路	(82)
3.3 多级放大电路及其级间耦合方式	(87)
3.4 差动放大电路	(93)
3.5 互补对称功率放大电路	(101)
3.6 场效应管放大电路	(107)
本章小结	(111)
复习思考题	(113)

第4章 放大电路中的反馈	(117)
4.1 反馈的基本概念及判断方法	(117)
4.2 放大电路中的负反馈	(121)
4.3 负反馈对放大电路性能的影响	(125)
本章小结	(130)
复习思考题	(131)
第5章 门电路及触发器	(134)
5.1 分立元件门电路	(134)
5.2 TTL集成门电路	(136)
5.3 CMOS门电路	(144)
5.4 触发器	(150)
5.5 单稳态触发器	(160)
5.6 多谐振荡器	(164)
本章小结	(166)
复习思考题	(166)
第6章 信号运算及处理电路	(171)
6.1 信号运算电路	(171)
6.2 信号处理电路	(178)
6.3 波形产生电路	(186)
本章小结	(196)
复习思考题	(196)
第7章 直流电源	(200)
7.1 整流电路	(200)
7.2 滤波电路	(204)
7.3 直流稳压电路	(209)
本章小结	(215)
复习思考题	(215)
第8章 组合逻辑电路	(218)
8.1 组合逻辑电路的分析与设计	(218)

8.2 加法器(Adder)	(222)
8.3 编码器(Encoder)	(224)
8.4 数字系统译码器(Decoder)	(227)
8.5 数据选择器(Multiplexer)	(233)
8.6 计算机CPU内部数值比较器.....	(235)
8.7 应用举例	(237)
本章小结	(240)
复习思考题	(240)
第9章 时序逻辑电路	(244)
9.1 时序逻辑电路的分析方法	(244)
9.2 寄存器(Register)	(248)
9.3 计数器(Counter)	(252)
9.4 应用举例	(260)
本章小结	(263)
复习思考题	(263)
第10章 数字系统的应用	(268)
10.1 只读存储器	(268)
10.2 随机存取存储器	(275)
10.3 可编程逻辑器件	(278)
10.4 模拟量和数字量的转换	(286)
本章小结	(295)
复习思考题	(295)
复习思考题答案	(298)
参考文献	(302)

第1章 绪论

21 世纪已进入信息时代,作为信息技术发展基础之一的电子技术必将以更快的速度发展。

电子技术就是采用半导体器件组成的各种电子电路来产生、传输和处理信号的技术。按照电子电路中流经信号的类型、电路功能和构成原理的不同,电子电路可分为模拟电路和数字电路两大类。本书着重讨论模拟电路和数字电路的基本概念、基本原理、基本方法及其基本应用。

本章首先简要地介绍信号与系统的基本概念,然后介绍逻辑代数的基本公式、基本定理,讲述逻辑函数及其表示方法,介绍逻辑函数的化简,最后讨论放大电路的基本概念和放大电路的主要性能指标。

1.1 信号与系统

电子技术中谈到的“信号”,指的是用于描述和记录图像、声音等信息的电压、电流,即随图像、声音等信息变化的电压和电流,也就是所谓的电信号。

电信号是现代信息的主要载体,它可以用多种方式来描述,如数学表达式、波形图等。我们可以从不同的角度对电信号进行分类:可分为确定信号与随机信号、周期信号与非周期信号、模拟信号与数字信号。

所谓电子系统是由若干相互关联的单元电子电路组成的,用来实现信号产生、传输或信号处理的电路整体。一个功能完善的复杂电子系统往往由多个电子系统构成。一般来说,电子系统必须与其他物理系统结合,才能构成完整的实用系统。例如,图 1-1 所示电路是一个数字通信系统的构成框图。发送端话音通过话筒转换成微弱的电信号,该信号为模拟信号,通过放大器进行放大,滤波器去除干扰实现滤波,再经过模数转换器 ADC 将该模拟信号转换成数字信号,送入计算机系统进行处理和传输;接收端将传送过来的数字信号经过数模转换器 DAC 转换成模拟电压信号,再通过滤波和功率放大,最后从扬声器输出话音。

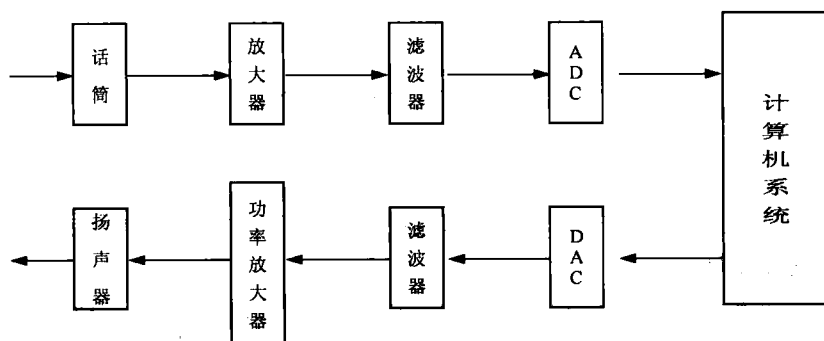


图 1-1 电子系统示例

1.2 模拟信号及其放大

1.2.1 模拟信号

模拟信号也称为连续信号，即如果在某一时间间隔内，对于任意时间值（除若干不连续点外）都给出确定的函数值，则此信号就称为模拟信号，如图 1-2 所示的正弦波。

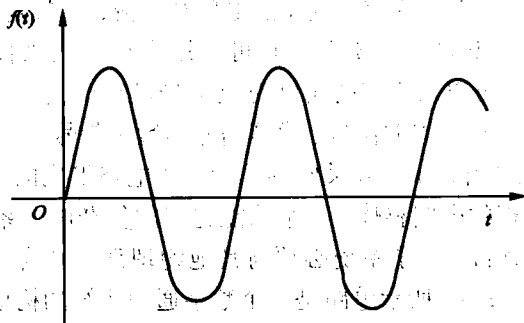


图 1-2 正弦波

1.2.2 模拟信号的放大

通过传感器检测各种物理量，其输出的模拟电信号通常都很微弱，通常只有毫伏级或更小。这种微弱的信号一般不能直接利用，因为很难对它进行进一步的分析处理。因此对电信号的放大就成为模拟电子技术的一种最基本的处理形式，而且许多其他处理电路都是以放大电路为基础的。

1.2.3 放大电路的主要性能指标

放大电路的质量好坏必须用一些性能指标来衡量,这些指标是围绕放大能力和失真等方面的要求提出的。所制定的标准除了能衡量放大电路的优劣之外,还必须便于测量,所以常用正弦信号作为实验和测试信号。

1. 输入电阻 r_i 和输出电阻 r_o

放大电路的输入端要接信号源(该信号源可能是前级放大电路),输出端要接负载(该负载可能是下级放大电路的输入阻抗),当放大电路和信号源、负载或其他放大电路连接时,衡量其相互影响的重要参数就是输入电阻和输出电阻。其情形如图1-3所示。

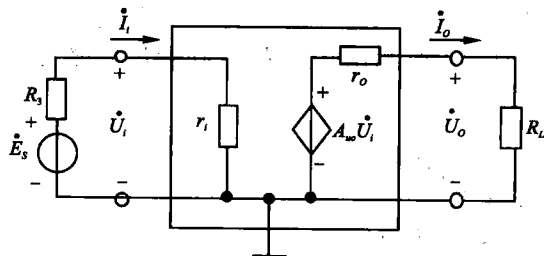


图1-3 放大电路的输入电阻和输出电阻

(1) 输入电阻 r_i 。在放大电路的输入端加信号电压 E_s 时,就会产生一定的信号电流 I_i ,因而放大电路的输入端呈现出阻抗特性,其等效阻抗就是放大电路的输入阻抗。当信号频率不高不低时,输入电流与输出电压基本相同,可以用输入电阻表示,即

$$r_i = \frac{\dot{U}_i}{\dot{I}_i} \quad (1-1)$$

由图1-3可见, r_i 越大,放大电路从信号源中得到的电流越小,放大电路输入端所得信号电压 U_i 就越接近信号源电压 E_s ,即

$$\dot{U}_i = \frac{r_i}{R_s + r_i} \cdot \dot{E}_s \quad (1-2)$$

所以输入电阻是 r_i 衡量放大电路对信号源影响程度的参数。

(2) 输出电阻 r_o 。放大电路的输出端可等效为一个非理想的电压源,如图1-3所示。放大后的信号电压输出给负载,对负载 R_L 而言,放大电路视为信号源,其电压 $\dot{U}_o$ 成为负载 R_L 开路用(即 $\dot{I}_o = 0$)时的输出电压。实验表

明, 放大电路接上负载 R_L 的输出电压 $\dot{U}_o$ 要比空载(负载 R_L 开路)的输出电压 $\dot{U}_o$ 小。因此, 从放大电路输出端看进去有一等效内阻用放大电路的输出电阻 r_o 。由图 1-3 有

$$\dot{U}_o = \frac{R_L}{r_o + R_L} \cdot A_{uo} \dot{U}_i \quad (1-3)$$

可见, r_o 越小, 放大电路带负载前后的输出电压相差就越小, 即放大电路受负载影响的程度就越小。因此, 输出电阻 r_o 是衡量放大电路带负载能力的参数。理想电压放大电路的输出电阻 $r_o = 0$ 。

输出电阻 r_o 既可用实验方法测出, 也可通过理论分析求出。如图 1-4 所示, 在负载 R_L 开路即将信号源 $\dot{E}_s$ 短路(保留信号源内部电阻 R_s)下, 若在放大电路的输出端外加一正弦测试电压 $\dot{U}_T$, 在输出回路将产生相应的正弦电流 $\dot{I}_T$:

$$r_o = \left. \frac{\dot{U}_T}{\dot{I}_T} \right|_{\substack{R_L = \infty \\ E_s = 0}} \quad (1-4)$$

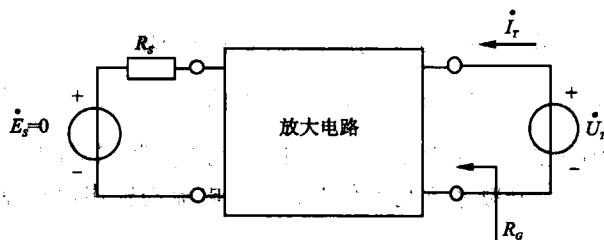


图 1-4 放大电路输出电阻求取电路

2. 增益

增益又称为放大倍数, 是衡量放大电路放大能力的参数。对于图 1-3 所示放大电路, 由于输出和输入信号都有电压和电流量, 所以当研究的对象不同时, 可用下述 4 种不同的增益表示。

(1) 电压增益 A_u 。它表示输出电压变化量 $\dot{U}_o$ 与输入电压变化量 $\dot{U}_i$ 之比, 即

$$A_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \quad (1-5)$$

(2) 电流增益 A_i 。它表示输出电流变化量 $\dot{I}_o$ 与输入 $\dot{I}_i$ 之比, 即

$$A_i = \frac{\dot{I}_o}{\dot{I}_i} \quad (1-6)$$

(3) 互阻增益 A_{ui} 。它表示输出电压变化量 $\dot{U}_o$ 与输入电流变化量 $\dot{I}_i$ 之比, 即

$$A_{ui} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{I}_i} \quad (1-7)$$

(4) 互导增益 A_{iu} 。它表示输出电流变化量 $\dot{I}_o$ 与输入电压变化量 $\dot{U}_i$ 之比, 即

$$A_{iu} = \frac{\dot{I}_o}{\dot{U}_i} \quad (1-8)$$

此外, 在工程上, 增益常用分贝表示, 如电压增益定义为

$$\text{电压增益} = 20\lg|A_u|(\text{dB}) \quad (1-9)$$

$$\text{电流增益} = 20\lg|A_i|(\text{dB}) \quad (1-10)$$

采用分贝表示增益的最大优点在于, 可以十分方便地化增益数值的相乘为增益数值的相加。

3. 频率响应

一方面放大电路的输入信号往往是由许多频率成分组合而成的复杂信号; 另一方面, 放大电路一般会含有电抗元件(极间电容、耦合电容等), 因而对不同频率的信号具有不同的放大能力, 增益是频率的函数。以电压增益为例, 此时

$$A_u = A_u(f) \angle \varphi(f) \quad (1-11)$$

式中 $A_u(f)$ 表示电压增益的幅值与频率的关系, 称为幅频响应; 而 $\varphi(f)$ 表示放大电路输出电压与输入电压之间的相位差与频率 f 的关系, 称为相频响应。图 1-5 显示出了一典型 RC 耦合放大电路的幅频响应与相频响应。

由图可以看出, 该曲线大体上可分为 3 个区域: 在中频区(可忽略阻抗元件作用), $A_u(f)$ 基本不变, 相频特性平坦; 中频区的电压增益用 A_{um} 表示, 在高频区和低频区, 电压增益下降, 相位也随频率不同而变化, 当频率升高或降低使电压增益下降为中频区增益 A_{um} 的 0.707 时, 对应的频率称为上限截止频率 f_H 和下限截止频率 f_L 。 f_H 与 f_L 之间的频率范围通常称为放大电路的通频带, 用 BW 表示, 即

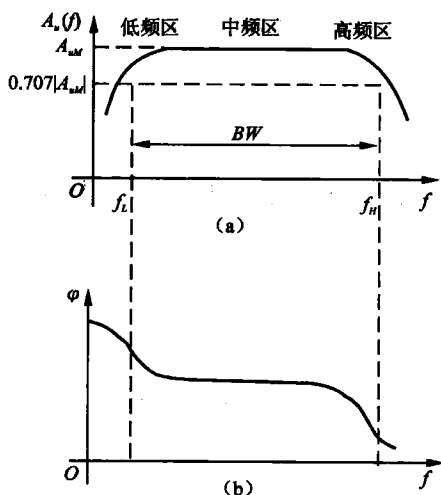


图 1-5 典型 RC 耦合放大电路的幅频特性和相频特性

$$BW = f_H - f_L \quad (1-12)$$

一般, $f_H \gg f_L$, 所以 $BW \approx f_H$ 。

通频带越宽, 表明放大电路对信号频率的适应能力越强。但对通频带的要求, 要视放大电路的用途来确定, 例如, 对于收录机、扩音机来说, 通频带宽意味着可以将原乐曲中丰富的高音都能表现出来。然而, 通频带过宽, 也容易引入干扰和噪声。

4. 非线性失真

理想放大电路具有线性传输特性, 如图 1-6 所示。此时, 传输特性的斜率 (增益) 为常数, 输出电压 u_o 正比于输入电压 u_i 。然而, 实际的放大电路传输特性是非线性的, 如图 1-7 所示。

当输入信号过大, 超出三极管特性线性工作区进入非线性区时, 放大电路的输出信号 u_o 不再与输入信号 u_i 成正比, 此时, u_o 除了基波外, 还含有许多谐波成分, 即在输出信号 u_o 中产生了输入信号 u_i 中没有的新的频率分量, 这是非线性失真的基本特征。

通常放大电路的非线性失真的程度可用非线性失真系数 D 来表示, 定义为

$$D = \sqrt{\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 + \left(\frac{A_3}{A_1}\right)^2 + \dots} \quad (1-13)$$

式中 $A_1, A_2, A_3 \dots$ 分别为基波和各次谐波的幅值。

5. 最大输出幅值

在图 1-7 中传输特性出现了弯曲, 这说明实际放大电路只允许 v_i 在 $-V_{im} \sim +V_{im}$ 内变化, 超出此范围, 输出波形将出现失真。也就是说, 实际放大电路的输入信号、输出信号最大值是受限制的。

通常把非线性失真系数达到某一规定值(例如 5%)时的输出幅值称为最大输出幅值, 用 V_{om} 或 I_{om} 表示。

6. 最大输出功率与效率

最大输出幅值是输出不失真时的单项(电压或电流)指标。此外还有一个综合性的指标, 即最大不失真功率。它是在输出信号基本不失真情况下能输出的最大功率, 一般用 P_{om} 表示。

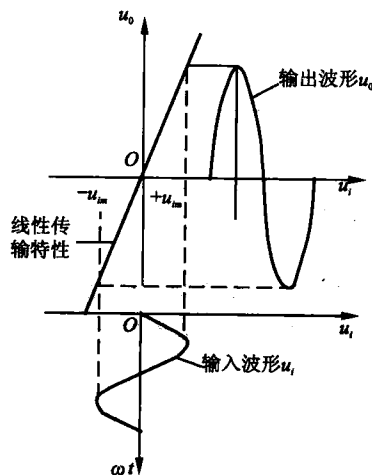


图 1-6 线性传输特性与线性放大

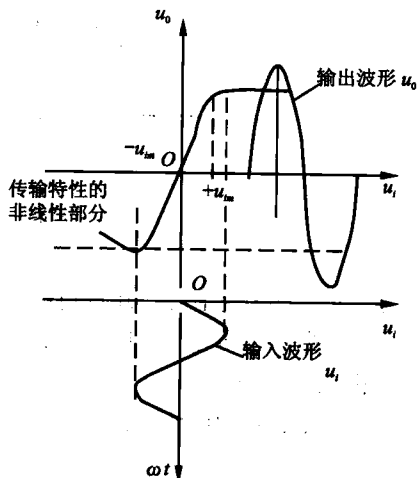


图 1-7 非线性传输特性与非线性放大

在放大电路中, 输入信号的功率是很小的, 经过放大后可得到较大的输出功率, 这些能量是由直流电源提供的。所以放大的实质是能量的控制和转换, 利用放大电路将直流电源的能量转化为按输入信号变化的交流能量供给负载(电阻), 这就存在转换效率问题。功率的定义为

$$\eta = \frac{P_o}{P_u}$$

式中 P_o 是输出信号功率, P_u 为直流电源供给的平均功率。