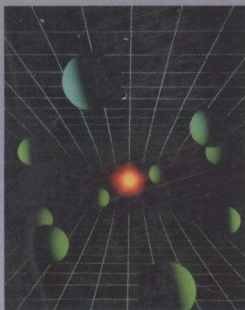


TN01
12



高等院校教材

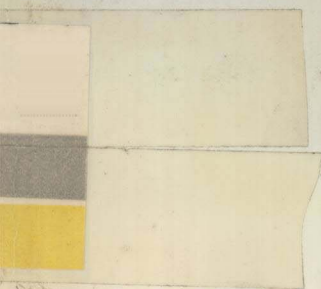
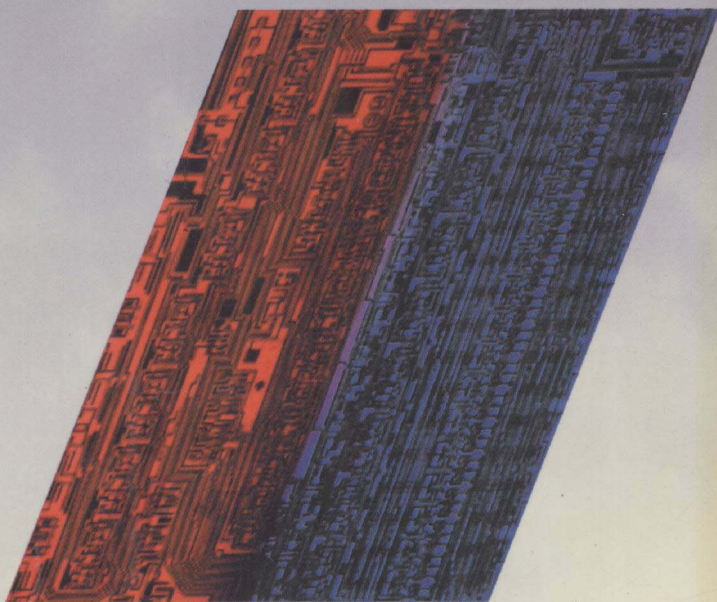
DIANZI JISHU JICHU JIAOCHENG
(MOLI BUFEN)

李玲远 田化梅 宋立新 编著

湖北科学技术出版社

电子技术基础教程

(模拟部分)



高等院校教材

电子技术基础教程

(模拟部分)

李玲远 田化梅 宋立新 编著

湖北科学技术出版社

电子技术基础教程(模拟部分)

© 李玲远 田化梅 宋立新 编著

责任编辑:李海宁
Tel: 86792496

封面设计:秦滋宣
责任校对:蒋静

出版发行:湖北科学技术出版社
地 址:武汉市武昌黄鹤路75号

电话:86782508
邮编:430077

印 刷:京山县印刷厂
督 印:李平

邮编:431800

787mm × 1092mm
2000年5月第1版

16开

13印张

314千字
2000年5月第1次印刷

印数:1-4000

定价:19.00元

ISBN 7-5352-2383-4/TN·52

本书如有印装质量问题 可找承印厂更换

内 容 简 介

本书是根据作者多年的教学实践经验,并结合当前电子技术的发展和教学改革的实践而编写的。在编写过程中,我们突出电子电路的教学思路,由浅入深,力求实用,删去了陈旧的内容,增加了集成电路的比重,补充了电路分析和信号分析的有关内容,对于重、难点内容还附有较多的例题,便于教学和读者自学时参考。

全书共分十章,内容包括电路分析基础、半导体器件的基本特性、基本放大电路、集成运算放大器、负反馈放大器、低频功率放大器、信号的运算与处理电路、信号产生电路、直流电源和调制与解调。各章都附有思考题与习题。教学时数为 80 学时左右。

本书可作为高等学校相关专业的本科生教材,也可作为成人教育同类课程的教材或教学参考书,还可供从事电子技术工作的工程技术人员参考。

前 言

为适应电子技术迅猛发展和教学改革形势的需要,在总结多年来教学实践经验的基础上,我们编写了电子技术基础课程的一套教材,并以《电子技术基础教程》(模拟部分)、《电子技术基础教程》(数字部分)及《电子技术基础实验》三册出版。本书既可作为高等院校电子技术基础课程的教材,也可作为电子技术基础的自学读本。

我们编写《电子技术基础教程》(模拟部分)一书的指导思想主要体现在以下几点:

1. 处理好迅速更新的新技术和有限篇幅之间的矛盾,在保证基本概念、基本原理和基本分析方法的前提下,精简了部分分立元件电路的内容,删减了变压器耦合功率放大器,分立元件组成放大电路的设计问题等,加强了集成电路的应用,引入了集成模拟乘法器、集成功率放大器等新技术内容。

2. 突出了电子技术基础课程的实践性。在讨论各类器件时,重点放在器件的基本工作原理、器件的外特性及主要参数。在讨论具体电路时,突出构成该电路的思路、电路特点、重要技术指标的计算,尽量删去繁杂的数学推导。

3. 在选材的编排,我们力求做到由浅入深,循序渐进。从实际出发,在重点、难点内容中,精选例题,引导学生运用基本概念、基本原理和基本分析方法来分析问题,培养学生解决实际问题的能力。各章附有精选的思考题与习题,利于学生复习和巩固所学的知识。在第一章中增加了前续课程中有关的基本内容和信号与电子系统的一些基本概念,作为学习本课程或阅读本书的预备知识。

参加编写本书工作的李玲远同志负责编写第一、二、三章,田化梅同志负责编写第四、五、六、七、八章,宋立新同志负责编写第九、十章。胡志荣同志为本书绘制了全部插图。

本书由武汉大学张肃文教授主审。张肃文教授对初稿进行了认真的审阅,提出了许多宝贵意见和修改意见,在此谨致衷心的感谢。

电子技术迅速发展,教学改革任重道远,我们编者的水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2000.1

目 录

| | |
|-----------------------------|------|
| 第一章 电路分析基础 | (1) |
| 第一节 信号与电子系统..... | (1) |
| 一、信号及其基本特性..... | (1) |
| 二、周期信号的频谱..... | (2) |
| 三、电子系统..... | (3) |
| 第二节 电路的基本概念..... | (5) |
| 一、电路..... | (5) |
| 二、电路常用基本物理量..... | (5) |
| 三、电路基本元件..... | (7) |
| 四、基尔霍夫定律..... | (13) |
| 第三节 电路基本定理与分析方法..... | (15) |
| 一、叠加与齐次定理..... | (15) |
| 二、置换定理..... | (16) |
| 三、等效电源定理..... | (16) |
| 四、密勒定理..... | (17) |
| 五、线性电路分析的基本方法..... | (18) |
| 第四节 RC 电路..... | (19) |
| 一、电路暂态过程分析..... | (19) |
| 二、微分电路..... | (20) |
| 三、积分电路..... | (22) |
| 思考题与习题..... | (22) |
| 第二章 半导体器件的基本特性 | (25) |
| 第一节 半导体的基础知识..... | (25) |
| 一、本征半导体..... | (25) |
| 二、杂质半导体..... | (26) |
| 三、PN 结..... | (27) |
| 第二节 半导体二极管..... | (29) |
| 一、半导体二极管的结构..... | (29) |
| 二、半导体二极管的伏安特性..... | (30) |
| 三、半导体二极管的主要参数..... | (31) |
| 四、半导体二极管的应用电路..... | (32) |
| 第三节 特殊二极管..... | (33) |

| | |
|-------------------------------|------|
| 一、稳压二极管 | (33) |
| 二、变容二极管 | (35) |
| 三、光电二极管 | (35) |
| 四、发光二极管 | (36) |
| 五、红外发光二极管 | (36) |
| 第四节 半导体三极管 | (36) |
| 一、三极管的结构 | (37) |
| 二、三极管的电流分配与放大作用 | (37) |
| 三、三极管的特性曲线 | (40) |
| 四、三极管的主要参数 | (41) |
| 五、温度对三极管特性的影响 | (43) |
| 第五节 场效应管 | (43) |
| 一、结型场效应管 | (43) |
| 二、绝缘栅场效应管 | (47) |
| 思考题与习题 | (51) |
| 第三章 基本放大电路 | (53) |
| 第一节 电路的基本概念和主要性能指标 | (53) |
| 一、放大电路的基本概念 | (53) |
| 二、放大器的性能指标 | (54) |
| 三、放大器的分类 | (56) |
| 第二节 基本放大电路的组成 | (56) |
| 一、放大电路的组成 | (56) |
| 二、放大电路的两种工作状态 | (57) |
| 第三节 图解分析法 | (58) |
| 一、用图解法确定静态工作点 | (58) |
| 二、用图解法作动态分析 | (59) |
| 三、图解法的适用范围 | (62) |
| 第四节 微变等效电路分析法 | (62) |
| 一、晶体管的 h 参数等效电路 | (62) |
| 二、用 h 参数等效电路分析基本放大电路 | (64) |
| 三、射极偏置电路 | (66) |
| 第五节 共集电极电路与共基极电路 | (68) |
| 一、共集电极电路 | (68) |
| 二、共基极电路 | (71) |
| 三、三种接法的比较 | (72) |
| 第六节 MOS 场效应管放大电路 | (73) |
| 一、MOS 场效应管的等效模型 | (73) |
| 二、场效应管放大电路的直流偏置电路及静态工作点 | (74) |
| 三、场效应管放大电路的微变等效电路分析法 | (75) |
| 第七节 多级放大电路 | (77) |

| | |
|--------------------------|-------|
| 一、电路组成 | (77) |
| 二、多级阻容耦合放大电路的计算 | (78) |
| 第八节 放大器的频率特性 | (80) |
| 一、放大器频率特性的概念 | (80) |
| 二、晶体管的 Π 型等效电路 | (81) |
| 三、放大器的频率特性 | (82) |
| 思考题与习题 | (89) |
| 第四章 集成运算放大器 | (90) |
| 第一节 差动放大器的工作原理 | (90) |
| 一、基本差动放大器的工作原理 | (90) |
| 二、差动放大器电路分析 | (91) |
| 三、差动放大器四种工作方式比较 | (92) |
| 四、恒流源差动放大器 | (94) |
| 五、差动放大器的传输特性 | (96) |
| 第二节 集成运算放大器 | (97) |
| 一、集成运算放大器的基本组成 | (97) |
| 二、集成运算放大器典型电路分析 | (98) |
| 三、集成运算放大器的主要参数 | (100) |
| 思考题与习题 | (100) |
| 第五章 负反馈放大器 | (104) |
| 第一节 反馈的基本概念 | (104) |
| 一、反馈的基本概念 | (104) |
| 二、反馈放大器的基本关系式 | (105) |
| 三、反馈的极性 | (105) |
| 四、反馈放大器的分类 | (106) |
| 第二节 负反馈对放大器性能的影响 | (108) |
| 一、提高增益的稳定性 | (108) |
| 二、减小非线性失真 | (109) |
| 三、扩展通频带 | (109) |
| 四、对输入、输出电阻的影响 | (110) |
| 第三节 负反馈放大器的基本分析方法 | (111) |
| 一、深负反馈条件下的近似计算 | (111) |
| 二、方框图分析法 | (112) |
| 第四节 负反馈放大器的自激 | (114) |
| 一、自激产生的原因 | (114) |
| 二、负反馈放大器的稳定工作条件 | (115) |
| 思考题与习题 | (115) |
| 第六章 低频功率放大器 | (119) |
| 第一节 功率放大器的特点和分类 | (119) |
| 一、功率放大器的特点 | (119) |

| | |
|------------------------------|-------|
| 二、功率放大器的分类 | (119) |
| 第二节 互补对称功率放大器 | (121) |
| 一、双电源互补对称功率放大器(OCL 电路) | (121) |
| 二、单电源互补对称功率放大器 | (125) |
| 第三节 集成功率放大器 | (126) |
| 思考题与习题 | (127) |
| 第七章 信号的运算与处理电路 | (130) |
| 第一节 理想集成运算放大器 | (130) |
| 第二节 信号的运算电路 | (131) |
| 一、比例运算电路 | (131) |
| 二、加、减运算电路 | (132) |
| 三、积分和微分电路 | (134) |
| 四、对数和反对数运算电路 | (135) |
| 五、乘法和除法运算电路 | (135) |
| 第三节 有源滤波器 | (137) |
| 一、一阶有源滤波器 | (138) |
| 二、二阶有源滤波器 | (138) |
| 思考题与习题 | (140) |
| 第八章 信号产生电路 | (143) |
| 第一节 正弦波振荡器的振荡条件 | (143) |
| 第二节 RC 正弦波振荡器 | (144) |
| 一、文氏电桥 RC 振荡器 | (144) |
| 二、其他形式的 RC 振荡器 | (146) |
| 第三节 LC 正弦波振荡器 | (147) |
| 一、LC 并联谐振回路的选频特性 | (147) |
| 二、变压器反馈式 LC 振荡器 | (148) |
| 三、三点式 LC 正弦波振荡器 | (149) |
| 第四节 石英晶体振荡器 | (151) |
| 一、石英晶体的基本特性及等效电路 | (151) |
| 二、石英晶体振荡器 | (152) |
| 第五节 方波发生器 | (153) |
| 一、电压比较器 | (153) |
| 二、方波发生器 | (155) |
| 第六节 锯齿波发生器 | (156) |
| 思考题与习题 | (157) |
| 第九章 直流电源 | (161) |
| 第一节 小功率整流滤波电路 | (161) |
| 一、单相半波整流电路 | (161) |
| 二、单相桥式整流电路 | (164) |
| 三、滤波电路 | (165) |

| | |
|------------------------------|--------------|
| 第二节 稳压电路 | (167) |
| 一、稳压电源的质量指标 | (168) |
| 二、串联型直流稳压电路 | (168) |
| 三、三端集成稳压电路 | (169) |
| 第三节 开关型稳压电路 | (171) |
| 第四节 可控整流电路 | (174) |
| 思考题与习题 | (177) |
| 第十章 调制与解调 | (181) |
| 第一节 幅度调制及解调 | (182) |
| 一、调幅原理 | (182) |
| 二、三极管调幅电路 | (184) |
| 三、二极管检波电路 | (185) |
| 第二节 角度调制及解调 | (185) |
| 一、调频和调相原理 | (185) |
| 二、角度调制及解调的实现 | (187) |
| 第三节 由集成模拟乘法器构成的调制与解调电路 | (189) |
| 一、振幅调制及检波 | (189) |
| 二、鉴频 | (191) |
| 思考题与习题 | (194) |
| 参考文献 | (195) |

第一章 电路分析基础

这一章主要介绍本课程需要的前续课程有关的基本内容和信号与电子系统的概念与应用。介绍这一章的内容有两个目的:其一是希望读者从较开阔的视野上理解电子技术的实际意义;其二是作为学习本课程或阅读本书的预备知识。读者可以根据自己对前续课程的学习情况决定阅读这一章内容的取舍。

第一节 信号与电子系统

一、信号及其基本特性

“信号”是一个被广泛使用的名词,例如,无线电信号,电视信号,报警信号和交通信号等,这些信号都是信息的一种物理体现,信号被定义为一个随时间变化的物理量。信号可以用来传输信息。信息可用语言、文字、图象等来表达,也可以用人们事先规定好的编码来表达。但在很多情况下,这些表达信息的语言、文字、图象、编码等不便于直接传输。为了便于信号的传输和处理,通常使用传感器把这些真实的物理信号转换成电信号来传送各种信息,即利用一种变换设备把各种信息转换为随时间作相应变化的电压或电流进行传输。这种随信息作相应变化的电压或电流就是电信号。

电信号可分为两大类,连续时间信号和离散时间信号。

连续时间信号是指随时间而连续变化的信号,它们在一个时间区间里的任何瞬间都有确定的值,而幅度和时间都是连续变化的信号称为模拟信号。模拟语音的音频信号,模拟图象的视频信号,模拟温度、压力这些物理量变化的信号等都是模拟信号。对于模拟信号,我们不但要研究它的有无,而且要研究它对时间的变化规律。

离散时间信号只在离散的时间点有确定的值。离散时间信号通常都是通过对连续时间信号采样得到的,而幅度和时间都是离散的信号,称为数字信号。对于数字信号,我们只需考虑它的有无或出现的次数,对信号的大小并无严格的要求。这一点是模拟信号和数字信号最本质的区别。

一个真实的物理信号首先要经过传感器转换成幅度和时间都是连续变化的信号(模拟信号)。经过采样成为时间离散、幅度连续的信号,再经过模数转换成为幅度和时间都是离散的信号(数字信号)。

产生和处理模拟信号的电路称为模拟电路,如交、直流放大器、音频信号发生器等。产生和处理数字信号的电路称为数字电路,如各种门电路、触发器、计数器等。

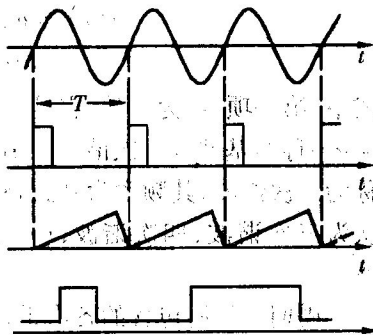


图 1-1 周期信号

模拟信号又可分为周期信号和非周期信号。周期信号是每隔一定的时间间隔,按同一规律重复变化的信号,图 1-1 中都是周期信号。

许多脉冲信号属于周期信号。所谓脉冲电压或电流,是指在短暂的时间(例如毫秒 ms 至纳秒 ns 数量级)内作用于电路的电压或电流。广义地说,一切非正弦信号,都可称之为脉冲信号。

现以图 1-2 的矩形电压脉冲为例,介绍描述脉冲信号特征的几个主要参数。

(一)脉冲幅度 U_m 为脉冲电压变化的最大值。

(二)上升时间或前沿时间 t_r 是指由 $0.1U_m$ 上升到 $0.9U_m$ 所需的时间。波形上相应于上升时间的那段变化过程,称为脉冲的前沿。

(三)下降时间或后沿时间 t_f 是指由 $0.9U_m$ 下降到 $0.1U_m$ 所需的时间。波形上相应下降时间的那段变化过程,称为脉冲的后沿。

(四)脉冲宽度 t_w 是指由前沿的 $0.5U_m$ 到后沿的 $0.5U_m$ 的时间。又称脉冲的持续时间。

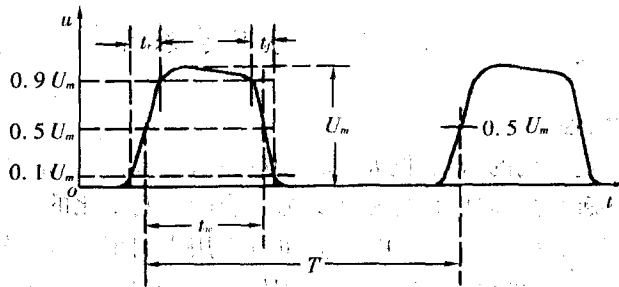


图 1-2 矩形电压脉冲信号

(五)重复周期 T 对周期性的脉冲信号,为两相邻脉冲前沿(或后沿)对应点(或中点)之间的时间间隔。

二、周期信号的频谱

一个非正弦周期信号,可以分解为许多不同频率的正弦信号,或者说,非正弦周期信号是一系列正弦信号的叠加。

任何周期函数 $f(t)$, 当其满足狄里赫利条件时,都可展开为傅里叶级数,即

$$f(t) = a_0 + a_1 \cos(\Omega t - \varphi_1) + a_2 \cos(2\Omega t - \varphi_2) + \dots + a_n \cos(n\Omega t - \varphi_n) + \dots \quad (1-1)$$

式中,第一项 a_0 为常数,它是周期信号中包含的直流分量,即 $f(t)$ 的平均值,第二项 $a_1 \cos(\Omega t - \varphi_1)$ 称为基波或一次谐波。 a_1 为基波的振幅, φ_1 为基波的初相角。第三项 $a_2 \cos(2\Omega t - \varphi_2)$ 称为二次谐波,其频率为基波频率的二倍, a_2 为二次谐波的振幅, φ_2 为其初相角;其余各项依次为三次谐波,四次谐波, \dots , $a_n \cos(n\Omega t - \varphi_n)$ 为 n 次谐波。

周期信号所包含的各次谐波分量,可由其振幅频谱和相位频谱清楚地表示出来。图 1-3 所示的线图绘出了各次谐波振幅的相对大小。图上每条垂直线代表一个谐波分量。其长度代表振幅 a_n ,各线之间的距离相等,均等于基波频率 ω_1 。这种以谐波频率为横坐标,以振幅为纵坐标

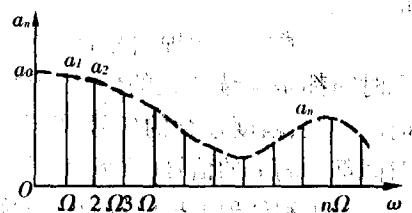


图 1-3 周期信号的频谱

的线图,称为频谱图或信号振幅的频谱,图中各线称为谱线。图中的虚线是通过各谱线顶点的连线为谱线的包络线,它反映了各分量的幅度变化的情况。类似地可绘出相位 φ_n 对 ω 的线图,这种图形称为相位频谱。在许多应用场合,只要知道振幅频谱就够了,故把振幅频谱简称为频谱。

现在我们通过一个具体例子来体会周期信号的分解和频谱图的意义。图 1-4 所示的对称方波,它的傅里叶展开式是

$$f(t) = \frac{2U_m}{\pi} \left[\cos\Omega t - \frac{1}{3} \cos 3\Omega t + \frac{1}{5} \cos 5\Omega t - \frac{1}{7} \cos 7\Omega t + \dots + (-1)^{\frac{n-1}{2}} \frac{1}{n} \cos n\Omega t + \dots \right] \quad (1-2)$$

式中, $n=1, 3, 5, \dots$ 。上式表明,方波的直流分量为零,只有奇次谐波。由式(1-2)可绘出对称方波的频谱,如图 1-5 所示。

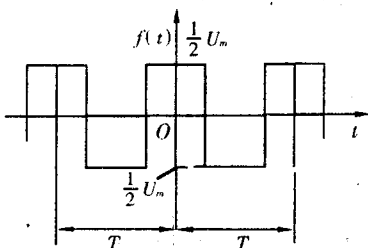


图 1-4 对称方波

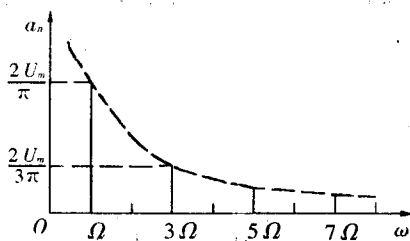


图 1-5 对称方波的频谱

傅里叶级数揭示了周期信号可以分解为一系列的谐波分量,反之,它还表明不同频率的谐波可以叠加成一个周期信号。图 1-6 绘出了方波的分解或谐波的叠加情况,图中只保留到五次谐波,略去了其余的谐波。由图可以看出,低次谐波振幅较大,它们组成方波的主体,而高次谐波振幅较小,它们主要影响方波的细节,保留的高次谐波愈多,叠加的波形边缘愈陡,愈接近于原来的理想方波。这也表明一个理想方波,包含着丰富的谐波分量。严格地说,复杂的周期信号有无限多个谐波分量,但因谐波振幅随频率的增加而减小,所以在实际工作中,只要考虑次数较低的一些谐波分量就够了。从零频率到需要考虑的最高次谐波的频率之间的频带,称为信号的频带宽度。在实际中,常把从零频率到振幅降为最大谐波振幅的 $1/K$ 的那个谐波频率之间的频带,称为信号的频带宽度。 K 值根据具体情况而定,常取为 10。

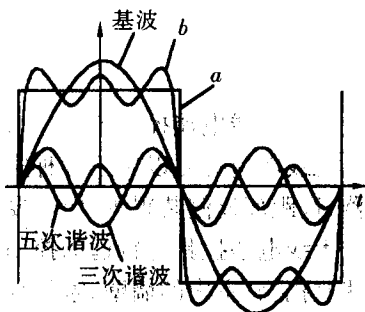


图 1-6 对称方波的分解

最后指出:周期信号的频谱只会出现在 $0, \Omega_1, 2\Omega_1, 3\Omega_1$ 等离散频谱点上,这种频谱称为离散谱,它是周期信号频谱的主要特点。非周期信号的频谱为连续频谱,分析非周期信号的频谱,必须采用傅里叶积分并引用频谱密度的概念,它的频谱图,描述的是频谱密度和频率的关系。这个问题,限于篇幅,不再详述,有兴趣的读者可参阅《信号与系统》方面的书籍。

三、电子系统

系统被定义为物理器件的集合。电子系统可认为是由若干相互关联的单元电子电路组

成,用来实现信号的传输或信号的处理。通常,组成系统的主要部件中包括大量的、多种类型的电路。电路也称为电网络或网络。当研究一般性的抽象规律时多用网络一词,而讨论一些具体问题时又称为电路。一般说来,系统、网络与电路通用。

(一)电视广播系统

在电视广播系统中,传输配有声音的景物时,先利用电视摄像机把景物的光线、色彩转变成图象信号(电压或电流),并利用话筒把声音转变成伴音信号(电压或电流),这些就是电视要传输的带有信息的电信号。然后把这些信号送入电视发射机进行处理,产生一种反映信息变化的便于传输的高频电信号,再由天线将这高频电信号转换为电磁波发射出去,在空间传播。电视观众用接收天线截获电磁波的很小一部分能量送入电视接收机。接收机的作用与发射机相反,它能对接收到的由电磁波转换得到的高频电信号进行处理,从而恢复出原来的图象和伴音信号,并分别送入显象管与喇叭,供观众欣赏。这个过程可用一个简明的方框图表示,如图1-7所示。其中,变换器指的是把表达信息的景物和声音转换为电信号的装置(如摄像管和话筒),或者反过来,把电信号转换为景物和声音的装置(如显象管和喇叭等)。

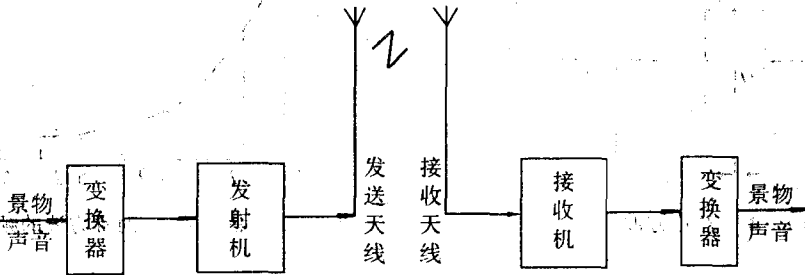


图 1-7 电视广播系统方框图

(二)无线电遥控系统

无线电遥控可以用于各种家用电器、航空、航海、车辆模型的遥控;还可构成远距离无线报警器、远距离探测装置等,但主要应用在各种模型的遥控及构成无线报警器。

无线电遥控具有较远的控制距离,一般可以达到几米至几十千米。无线电波可以“穿过”一些遮挡物(室内的墙壁、家具等),去控制不同房间或藏在家具背后的家用电器,或实现室内外的遥控。以上是无线电遥控的主要特点,它是由无线电波的波长及电波的传播特性决定的。这一点与红外线和超声波遥控是不同的。图1-8是无线电遥控系统的原理框图。它的发射器由指令键、指令编码电路、调制信号放大电路、调制电路、高频振荡电路、高功率放大电路与发射天线组成。接收器由接收天线、输入与放大电路、解调电路、指令译码电路、驱动电路和执行电路组成。

发射器中,调制电路将指令编码信号调制在高频振荡器(载波振荡器)产生的载波上,再经高功率放大后,由发射天线将电信号转换为电磁波,向外发射。在遥控距离不远的场合,调制信号放大电路和高功率放大器可以省去。调制的目的,一是将低频指令信号“装”在高频载波上,便于发射;二是提高系统的抗干扰能力。

接收电路中,接收天线将无线电波感应下来,并转换为电信号。后面的输入与放大电路将微弱的电信号选出、放大后再送解调电路,以使接收器有较高的接收灵敏度和抗干扰能力。

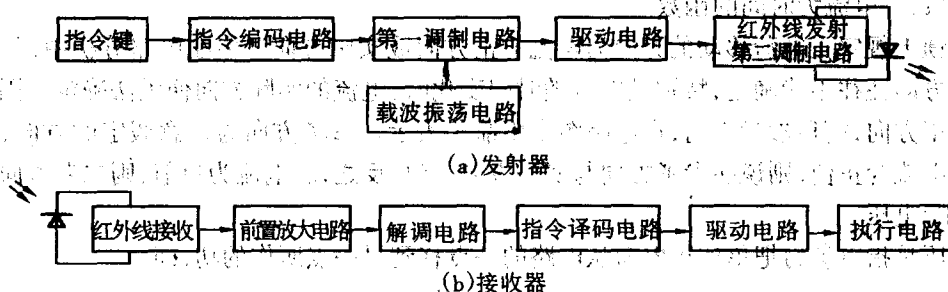


图 1-8 无线电遥控系统的原理框图

第二节 电路的基本概念

一、电路

电路是由一些物理器件按一定方式连接的组合。在现代技术中,电路用来完成控制、计算、通讯、测量等方面的任务。电路也称为电网络,简称网络。现实存在的电路形式繁多,功能各异,但主要可分为以下几种类型:

集中参数电路和分布参数电路。集中参数电路是指电路的几何尺寸远远小于电路最高工作频率所对应的工作波长。否则视其为分布参数电路。

线性电路和非线性电路。线性电路是指电路的激励(输入)与响应(输出)之间满足线性关系,即满足叠加性和齐次性。否则视其为非线性电路。

时变电路和定常电路。时变电路是指电路的结构参数随时间变化的电路。而定常电路中的元件参数不随时间变化,故也称为时不变电路。

电力电路和电子电路。电力电路主要是用以传输、分配强电电能(大电流或高电压或大功率)的电路;电子电路主要是指用以产生、传递、处理或变换电信号的电路。所谓电信号一般指反映某些信息特征的电流或电压,也可以是电荷、磁通、功率等电量。

此外,电路还可分为直流电路和交流电路;有源电路和无源电路;稳态电路与暂态电路等。本章重点讨论集中参数的定常电路。

二、电路常用基本物理量

(一) 电流

在电场作用下,电荷的定向移动形成电流。电流是一个代数量,它定义为在单位时间内通过导体横截面的电荷量,即

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-3)$$

式中, Q —电荷(C);

t —时间(s);

I —电流(A)。

如果通过导体横截面的电荷随时间变化,则有

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt} \quad (1-4)$$

式中, $q(t)$ —电荷为时间的函数;

$i(t)$ —电流为时间的函数。

习惯上规定正电荷移动的方向为电流的正方向或实际方向。但在电路分析中,某段电路的实际方向往往不能确定,特别是电流随时间变化时,电流的实际方向便无法确定。因此常采用参考正方向,简称参考方向,在电路图中用箭头表示。参考方向为任意假定的方向,若计算结果中电流为正值,则说明参考方向与实际方向一致;反之,若电流为负值,则二者方向相反。

(二)电压

电压是指电场力把单位正电荷从电路的一点移到另一点所作的功,即

$$U = \frac{W}{Q} \quad (1-5)$$

式中, Q —电荷量(C);

W —电场力移动电荷 Q 所作的功(J);

U —电压(V)。

如果电压随时间变化,则

$$u = \frac{dW}{dq} \quad (1-6)$$

电压的实际方向或正方向规定为由高电位指向低电位,即电压降的方向,一般用实际极性表示,高电位标以“+”号,低电位标以“-”号。在电路分析中,同样存在难以(或无法)确定某段电路电压的实际方向,因此也采用参考方向或参考极性,即任意假定的极性在指定参考极性后,计算结果显示电压的正负值就有明确的物理意义,即正值说明参考极性与实际极性一致,负值说明二者方向相反。

在电路分析中,经常用到电位这一个物理量。电位是相对于在电路中所选的零电位参考点而言的。所谓某点的电位是指该点到零电位参考点的电压。任意两点电位差即为此两点的电压。电位的单位也为伏特(V)。电位与电压的区别在于电位是相对量,它与参考点选择有关,而电压是绝对量,与参考点选取无关。

关联参考方向。电流与电压的参考方向是任意假定的,二者彼此独立,相互无关。但为了分析电路的方便,总是把某段电路电压参考方向和电流参考方向取成一致,即电流参考方向是从电压参考正极流入,负极流出,并称之为关联参考方向。采用关联参考方向时,可以在电路图上只标一个电量的参考方向。图 1-9(a)所示某段电路,其电流与电压参考方向是采用关联参考方向;而图 1-9(b)则为非关联参考方向。



图 1-9 电流与电压的关联参与方向

(三)功率

功率是电场力在单位时间内所作的功,即

$$P(t) = \frac{dW}{dt} \quad (1-7)$$

式中, W —功或能量(J);

t —时间(s);

$P(t)$ ——瞬时功率(W)。

(3) 若某段电路的电压为 u , 流过的电流为 i , 则功率为

$$P = u \cdot i \quad (1-8)$$

如果电压 u 和电流 i 采用关联参考方向, 则式(1-8)可计算该段电路的吸收功率; 如果 u 和 i 采用非关联参考方向, 则由式(1-8)计算出该段电路的发出功率。

三、电路基本元件

电路元件按能量特性分为无源元件和有源元件; 按其端钮还可分为二端元件和多端元件。二端元件具有两个端钮, 如电阻、电容、电感和电源等。多端元件具有三个或三个以上端钮, 如三极管、变压器和运算放大器等。

本节主要介绍电路常用的基本元件。

(一) 无源元件

1. 电阻元件

电阻元件是一种无源二端元件。

若二端元件的电压、电流关系是由 $u-i$ 平面上通过坐标原点的曲线来描述, 则这种二端元件称为理想电阻元件, 简称电阻元件。这条曲线称为电阻元件的伏安特性曲线。电阻元件伏安关系或元件约束关系也常用函数关系式表示, 即

$$i = f(u)$$

或

$$u = g(i)$$

电阻元件可分为线性电阻和非线性电阻。线性电阻的伏安特性是 $u-i$ 平面上通过坐标原点的直线, 而非线性电阻的伏安特性为 $u-i$ 平面上通过坐标原点的曲线。

电阻元件又可分为时变电阻和定常电阻。若电阻伏安特性曲线不随时间变化, 则为定常电阻或时不变电阻。否则称其为时变电阻。线性时不变电阻的伏安特性为 $u-i$ 平面一条过坐标原点的直线, 而线性时变电阻伏安特性则为 $u-i$ 平面过坐标原点的一族直线。

线性时不变电阻元件的符号如图 1-10(a) 所示, 其伏安特性如图 1-10(b) 所示。其中 R 为伏安直线的斜率。线性时不变电阻的端电压 u 与通过的电流 i 成正比, 即满足欧姆定律

$$u = R \cdot i \quad (1-9)$$

式中, u 与 i 采用关联参考方向。

线性时不变电阻还可用电导 G 来表示, 即

$$G = \frac{1}{R} = \frac{i}{u} \quad (1-10)$$

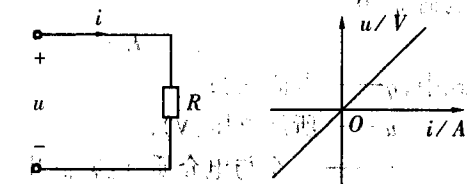
式中, i, u 分别表示电阻的电流、电压, 若单位分别为安[培](A)、伏[特](V), 则电导 G 单位为西[门子](S)。

2. 电感元件

电感元件是无源二端元件, 它能储存磁场能量。当图 1-11 所示线圈中的电流 i 变化时, 则因此在线圈中产生的磁通 Φ 变化, 相应的磁链 Ψ 也变化, 随之产生的感应电压 u 也变化。

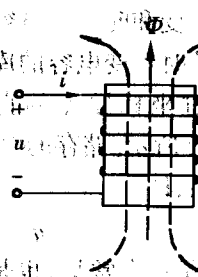
设线圈匝数为 N , 则有

$$\Phi = KNi$$



(a) 线性时不变电阻 (b) 伏安特性

图 1-10 线性时不变电阻



(1-11) 图 1-11 电感电流与磁通