

全国电力出版指导委员会出版规划重点项目

● 全国电力工人公用类培训教材

应用电子技术基础 (第二版)

毕月云 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

◎全国电力工人公用类培训教材

应用电子技术基础(第二版)

大同电力高级技工学校

毕月云 张长喜 霍宇平 编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是《全国电力工人公用类培训教材》中《应用电子技术基础》的第二版,此次修订增补了不少新内容,全书共分为十三章:电子测量与测量仪器的使用、电子元件及其应用、晶体二极管及其应用、晶体管及其应用、信号与放大、集成运算放大器及其应用、晶闸管及其应用 元器件综合应用举例——电源电路、数字电路分析基础、集成逻辑门及组合逻辑电路、集成触发器及基本数字部件、脉冲的产生与整形电路、元器件综合应用举例——计算机监控系统和数据通信。为方便培训与自学参考,每章后均附有复习题,并且在全书后附有复习题解答。

本书适用于火力发电、水力发电、供用电、城镇(农村)工矿企业、火电建设、水电建设和电力机械修造等7个部门26个专业159个工种的初、中、高级工培训考核使用,也适用于其他有关人员学习。

图书在版编目(CIP)数据

应用电子技术基础/毕月云主编 -2版 -北京:中国电力出版社,2004

全国电力工人公用类培训教材

ISBN 7-5083-2374-2

I 应… II. 毕… III. 电子技术-技术培训-教材 IV. TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第060657号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1994年12月第一版

2004年9月第二版 2004年9月北京第九次印刷

850毫米×1168毫米 32开本 15.5印张 411千字

印数51151-56150册 定价29.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

努力搞好教材建設
為提高電業職工
素質服務

史大楨

丁巳年春



出 版 说 明

《全国电力工人公用类培训教材》自1994年出版以来,已用于电力行业工人培训10余年,得到了广大电力工人和培训教师的一致好评。为提高电力职工素质、使电力职工达到相应岗位的技术要求奠定了基础。

近年来,随着国家职业技能标准体系的完善,《中华人民共和国职业技能鉴定规范·电力行业》已在电力行业正式实施。随着电力工业的高速发展,电力行业的职业技能标准水平已有明显提高,为满足职业技能鉴定规范对电力行业各有关工种鉴定内容中共性和通用部分的要求,我们对《全国电力工人公用类培训教材》重新组织了编写出版。本次编写出版的原则是:以《中华人民共和国职业技能鉴定规范·电力行业》为依据,以满足电力行业对从业技术工人基本知识结构的要求为目标,兼顾提高电力从业人员的综合素质。本次编写出版的教材共14种,即:

电力工人职业道德与法律常识	应用机械基础(第二版)
电力生产知识(第二版)	应用力学基础(第二版)
电力安全知识(第二版)	应用水力学基础(第二版)
应用电工基础(第二版)	实用热工基础
应用电子技术基础(第二版)	应用计算机基础
电力工程识绘图	电力工程常用材料(第二版)
应用钳工基础(第二版)	电力市场营销基础

本教材此次编写出版得到了以上各册新老作者的大力支持,在此表示由衷的感谢!同时,欢迎使用本教材的广大师生和读者对其不足之处批评指正。

中国电力出版社

2004.6



前 言

《应用电子技术基础》一书是《全国电力工人公用类培训教材》之一,本教材自1994年出版以来,受到读者广泛好评。

随着电子技术的飞速发展,尤其是电力系统综合自动化的出现,电子技术在电力生产中的应用越来越广泛,一些电子新器件和新技术也被大量采用,应用电子技术已成为多种专业电力工人的必备知识,大力开展应用电子技术的教学或培训工作已成为电力工业持续、稳定发展的重要保障之一。

为适应电力企业的用人要求,满足各单位相关专业教学与培训的要求,我们根据1999年8月国家劳动和社会保障部正式批准颁布施行的《中华人民共和国职业技能鉴定规范·电力行业》和广大读者所提出的建议,对本书第一版作了大幅度的修订:大部分章节都被重新编写,其他章节也作了若干改动和充实。

新版的编写原则是:以《规范》为依据,以“必须、够用”为度,以实际应用为重点,以通俗易懂、图文并茂、深入浅出为特色,并适当增加反映生产中已应用的新器件、新技术、新设备的内容。

本教材可作为:

(1) 电力行业电气运行与检修、变电运行与检修、线路运行与检修、汽轮机运行与检修、锅炉运行与检修、热工仪表与自动装置、营业用电、发电厂电气安装、送变电安装、水电厂机电安装等专业的培训教材。

(2) 电力技工学校电力系统及自动化、机电一体化、通用电工、计算机等专业的教材。

(3) 中等专业和职业学校电气信息类专业的教材或参考用书。

(4) 社会各行业电子爱好者作为通俗读物阅物。

修订后的《应用电子技术基础》包括三大部分内容：电子测量部分（第一章）讲述电子测量基本知识和数字万用表、低频信号发生器、示波器的使用知识；模拟电路部分（第二~第八章）讲述电子元、器件（电阻、电容、电感线圈、二极管、晶极管、集成运算放大器、晶闸管）的特性及其在电子电路（整流电路、滤波电路、基本放大电路、开关电路、正弦波振荡器、功率放大电路、运算放大电路、可控整流电路、逆变电路、电源电路）中的应用和使用知识；脉冲数字电路部分（第九~十三章）重点讲述了数字电路的基本内容（逻辑代数和逻辑门、组合逻辑电路和时序逻辑电路），最后简要介绍了电力系统计算机监控知识、A/D和D/A转换、调制和解调器、数据通信等知识。每章后均有复习题，书末附有复习题参考答案。与第一版相比，我们删去了一些陈旧的内容，增加了若干新的内容：如开关电源、UPS电源、A/D和D/A转换、数字集成芯片、调制解调和数据通信等知识。

本书由山西大同电力高级技工学校毕月云主编，张长喜、霍宇平参编，河南电力工业学校赵顺通主审。另外，本书在编写过程中得到了李彦、曹建周等同志的大力支持，在此表示衷心的感谢。

本书涉及内容广泛，编者才疏学浅，加之时间仓促，因此难免存在错误或不妥之处，敬请使用本书的各单位和广大读者批评指正。

编 者

2004年8月



目 录

出版说明

前言

引言..... 1

第一章 电子测量与测量仪器的使用..... 6

第一节 电子测量基本知识..... 6

第二节 数字万用表及其使用方法..... 10

第三节 低频信号发生器的使用..... 19

第四节 示波器及使用方法..... 23

复习题..... 34

第二章 电子元件及其应用..... 38

第一节 电子元件应用基础..... 39

第二节 电子元件的应用..... 45

复习题..... 57

第三章 晶体二极管及其应用..... 60

第一节 晶体二极管的导电特性..... 60

第二节 半导体材料及其应用..... 63

第三节 晶体二极管使用知识..... 71

第四节 晶体二极管整流电路..... 76

第五节 晶体二极管的其他应用..... 91

第六节 几种特殊二极管的应用..... 95

复习题..... 102

第四章 晶体管及其应用..... 111

第一节 晶体三极管的导电特性..... 111

第二节 晶体三极管基本放大电路..... 124

第三节 晶体三极管开关电路及其应用..... 142

第四节 场效应管及其应用..... 147

复习题	160
第五章 信号与放大	167
第一节 静态工作点稳定的放大电路	167
第二节 多级放大电路	170
第三节 射极输出器	174
第四节 负反馈放大电路	175
第五节 正弦波振荡器	180
第六节 直接耦合放大电路	186
第七节 功率放大电路	195
第八节 交流放大电路的测试	200
复习题	202
第六章 集成运算放大器及其应用	211
第一节 集成电路简介	211
第二节 集成运算放大器	214
第三节 集成运放的线性应用	219
第四节 集成运放的非线性应用	226
第五节 集成运放的保护电路	228
复习题	228
第七章 晶闸管及其应用	232
第一节 电力电子技术简介	232
第二节 晶闸管的导电特性	235
第三节 晶闸管可控整流电路	242
第四节 晶闸管逆变电路和交流调压电路	257
第五节 晶闸管触发电路	266
第六节 晶闸管的保护电路和接口电路	273
第七节 晶闸管调光电路的调试	277
复习题	279
第八章 元器件综合应用举例——电源电路	286
第一节 线性直流稳压电路	286
第二节 开关型直流稳压电路	301

第三节	不间断电源 (UPS)	304
第四节	直流稳压电源的调试	306
复习题		308
第九章	数字电路分析基础	312
第一节	数字电路的特点	312
第二节	二进制计数与编码	313
第三节	逻辑代数	318
复习题		327
第十章	集成逻辑门及组合逻辑电路	330
第一节	集成逻辑门简介	330
第二节	集成逻辑门的应用	344
复习题		359
第十一章	集成触发器及基本数字部件	363
第一节	集成触发器	363
第二节	寄存器	372
第三节	计数器	376
第四节	半导体存储器	381
复习题		384
第十二章	脉冲的产生与整形电路	388
第一节	多谐振荡器	388
第二节	单稳态触发器	393
第三节	施密特触发器	396
复习题		400
第十三章	元器件综合应用举例——计算机监控系统 和数据通信	402
第一节	计算机监控系统简介	402
第二节	数模和模数转换器简介	407
第三节	数据通信	419
复习题		429
附录	复习题解答	432



引 言

一、电子技术发展简史

1902 年物理学家里查森发现加热物体发射电子的效应，拉开了电子工业发展的序幕。1904 年英国的弗莱明博士发明了具有检波作用的真空二极管，1906 年美国的德法雷斯发明了具有放大作用的真空三极管——人称“无线电的心脏”。从此，电子技术开始了它辉煌的发展历程。

真空管又叫电子管。电子管的问世，为无线电通信技术的发展立下了汗马功劳，也使其自身得到迅速发展。二次世界大战前，人们发明了各式电子管（如四极管、五极管、磁控管、调速管等），促进了雷达和超高频通信的迅速发展。但是，电子管体积大、耗电多、寿命短、易破碎、价格昂贵，促使人们设法寻找能替代它的新器件。

1947 年 12 月，世界上第一只可用子音频（约为 20Hz ~ 20kHz）放大的接触型固体器件——半导体三极管，在美国的贝尔实验室诞生了。1950 年 4 月又研制出结型半导体三极管。半导体三极管又叫晶体三极管或晶体管，它体积小、重量轻、耗电少、寿命长，许多方面的性能都优于电子管。电子设备采用晶体管后，开始向小型化、轻量化、低能耗的方向发展。毫无疑问，晶体管的发明是电子技术发展史上一个重要的里程碑。

1959 年，人们在晶体管的发展基础上发明了集成电路（IC），这是电子器件发展中的一次飞跃。

20 世纪 60 年代初，集成电路的集成度还很小，每块硅片上几十个元器件，称为小规模集成电路（SSI）；1965 年出现了每块硅片上几百个元器件的中规模集成电路（MSI）；1973 年研制出每块硅片上几万个元器件的大规模集成电路（LSI）；1978 年研制出每块硅片上几十万个元器件的超大规模集成电路（VLSI）。随

着大规模、超大规模、积木式集成技术的出现、完善和成熟，微处理机在不断地扩容、增速、微型化。1946 年研制成功的第一台电子管计算机，主机和外设占了一幢楼房，而今天的微型智能机器人甚至可以钻进患者的血管去清除病灶。

目前，电子技术正朝着量子隧道器件方向发展。量子隧道器件的尺寸比半导体集成电路约小 100 倍，而运算速度要快 1000 倍。科学家预言，量子隧道器件将是继真空器件、半导体器件之后的又一个新的里程碑。

随着电子器件的不断更新，电子技术经历了电子管、晶体管、中小规模集成电路和大规模超大规模集成电路的发展历程，它的成果确实令人赞叹。无线电广播、电视、电话、自动装置、智能化仪器仪表、运动装置、Internet 都是与电子技术分不开的。

事实告诉人们：电子元器件发展史就是电子技术发展史。

二、电子技术的分类

电子技术发展到今天，内容已十分丰富。从处理电能功率高低的角度出发，可分为信息电子技术（又叫微电子技术）和电力电子技术。由于微电子技术出现较早，因此已广为人知。电力电子技术是以利用大功率电子器件（如晶闸管、大功率整流管、大功率晶体管）对能量进行控制和变换为主要内容，与电子、控制和电力紧密相关的一门边缘学科。事实上，电子技术的两大分支既有区别又有联系。例如，为了对工业电能进行控制，电力电子装置自然要用微电子技术作为控制手段；但由于电力电子技术是对大功率电能进行变换的，装置效率是一项重要的力能指标，提高效率是电力电子技术的研究内容之一，而这显然又有别于微电子技术。

从电子技术应用领域的不同，可分为通信电子技术（如无线电广播、电视、电话等）、控制电子技术和医用电子技术（如 B 超、CT、核磁共振成像术）等。控制电子技术研究自动控制、运动及计算机领域中涉及到的问题，这些问题几乎渗透到电力系统的各个角落。

控制电子技术又可分为：模拟电子技术和脉冲数字电子技术。模拟电子技术主要研究对模拟信号进行传输和处理的模拟电路；脉冲数字电子技术则主要研究对脉冲数字信号进行传输和处理的脉冲数字电路。

(1) 模拟信号和模拟电路。信号通常是包含着某种信息（如温度、压力、声音、图像等）的电信号（电压或电流）或光信号。大小随时间连续变化的信号称为模拟信号，如图 0-1 (a)、(b) 为模拟信号。对模拟信号进行传输或处理的电子电路称为模拟电路，主要有放大电路、振荡电路、滤波电路等。

(2) 脉冲数字信号和脉冲数字电路。脉冲信号是指在时间上和取值上都是不连续的且作用时间很短的信号，如图 0-1 (c) ~ (f) 所示的各种脉冲信号。处理脉冲信号的电路称为脉冲电路。数字信号是脉冲信号中的一种，数字信号只有高电位和低电位两种可能（通常高电位用“1”表示，低电位用“0”表示），图 0-1 (c) 矩形波脉冲就是数字信号。对数字信号进行传输或处理的电子电路称为数字电路。

模拟信号和数字信号是可以相互转换的。模拟信号可以通过 A/D 转换器变成相应的数字信号，数字信号也可以通过 D/A 转

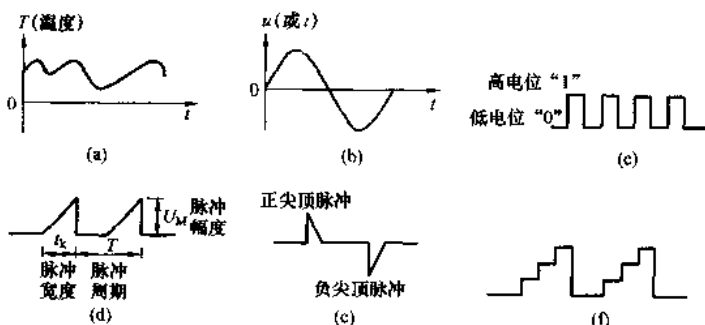


图 0-1 常见的几种信号波形

(a) 温度信号；(b) 电压（电流）信号；(c) 矩形波；
(d) 锯齿波；(e) 尖顶波；(f) 阶梯波

换器转换成相应的模拟信号。图 0-2 所示的微机保护电路中就使用了 A/D 转换器。图 0-2 中，从电压互感器和电流互感器引入的二次电压和电流，经变换器变换为适合保护所要求的电压，再由滤波器滤去直流成分、低次及高次谐波和各种干扰信号后，进入模/数 (A/D) 转换器变换成数字信号，微处理机对输入的数字信号进行运算和判断，然后决定是否跳开断路器 QF。

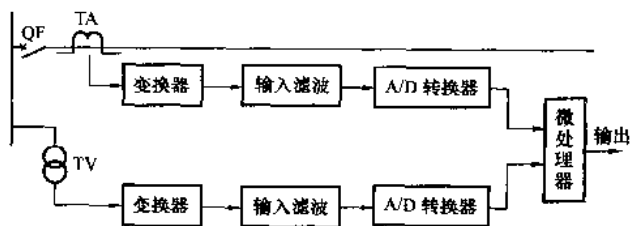


图 0-2 微机保护电路原理框图

三、应用电子技术的内容

随着电子技术的飞速发展，尤其是 IC（集成电路）技术不断发展，使微处理器存储容量日趋增大、计算速度日趋加快，也使工业生产过程自动化、远动化、智能化及电力系统综合自动化成为现实。应用电子技术基础主要介绍一些电子测量知识和电子元器件的应用知识，为以后进一步学习电力系统继电保护、自动装置、远动技术、综合自动化系统及电能变换等方面的知识打下基础。

四、学好电子技术的方法

(1) 物有所值、物尽其用。电子技术发展到微电子时代的今天，并不意味着前几代元器件已被淘汰。例如，广播电台、电视台还要用大功率电子管；在电视机、测量仪器和计算机显示器中，还在广泛应用 CRT（阴极射线管）。分立元器件（电阻、电容、电感、晶体管等）、中小规模集成电路在电源电路、放大电路、脉冲电路以及各种控制电路中还有极其广泛的应用。

(2) 重视测量、善于分析。电子技术是一门理论性和技术性

较强的学科。电子元器件性能及参数值，电子电路测试、调整、工作原理都是通过测量分析获得的。通过测量和分析，掌握常用电子仪器（如数字电压表、示波器、信号发生器等）的使用方法、元器件的测试方法以及电子电路检测调试方法，从而提高基本技能、加深对理论的理解、提高分析问题和解决实际问题的能力。

（3）化整为零、建立框图。一台电子设备的原理图，无论多么复杂总是由若干基本单元电路组成。读图时首先应化整为零，把一个复杂的电路按其作用划分成若干单元电路；其次要建立框图，这样便于知道信号的流通过程与电路大概应具有的功能，以便为深入分析各部分电路打下基础。

电子测量与测量仪器的使用

随着电力系统装机容量和供电地域的不断扩大,系统的结构和运行方式越来越复杂多变,同时对电能质量、供电可靠性和运行经济性的要求越来越高。在这种情况下,实现对设备及系统的实时监视、自动控制及综合调度是必不可少的。然而,无论是实时监视、自动控制,还是综合调度的实现都离不开电子测量和测量仪器仪表。

第一节 电子测量基本知识

电子测量就是借助电子仪器、仪表,对电量和非电量用直接、间接或组合的方法,测取所需参数的原理和方法。电子测量包括:电子测量技术和电子测量仪器仪表。电子测量技术又分为:模拟测量技术和数字测量技术;电子测量仪器仪表主要包含模拟式测量仪器仪表、数字式测量仪器仪表、智能仪器仪表三大类。

一、数字测量技术与模拟测量技术比较

数字测量技术与模拟测量技术相比:

(1) 首先是以数字显示(测量结果)代替了指针显示(如图1-1所示),使读数准确、方便、可靠。

(2) 数字信号抗干扰能力强,便于远距离输送,易实现遥测。因为数字信号的每一位只有“0”和“1”的差异,所以,只要传输线的衰减和外界干扰不至使高低电位混淆,就可把信号无误地传出去。

(3) 测量数据可直接输入微处理器(CPU)。微处理器不但可对数据进行分析、处理,而且还可使测量装置进行自动调整、自动校准、自动诊断等,即微处理器使测量装置具有了智能。在

复杂的工业自动测试、科学研究中,智能化仪器仪表得到了广泛应用。



图 1-1 指针显示和数字显示

尽管模拟测量技术远不及数字测量技术优越,但模拟式仪器仪表电路较简单、价格便宜,所以在测量中仍占有重要地位。

二、电子测量的内容和特点

电子测量内容如下:

(1) 电阻、电容、电感、管子特性参数等元器件参数的测量;

(2) 电流、电压、电功率等各种基本电量的测量;

(3) 周期、频率、相位、失真度、调制系数、脉冲参数等反映信号特性量的测量;

(4) 电路增益、通频带、灵敏度、品质因数等反映电路性能的量测量;

(5) 温度、压力、湿度等非电量的测量。

由于电子测量的内容多、范围广,所以电子测量具有以下特点:

(1) 测量量程广:如电压的测量,低至 10^{-6}V 、高至 10^6V ,量程达 12 个数量级。