

电工电子技术 实训与创新

- ◎ 丛书策划 郭连考
- ◎ 主 编 寇志伟
- ◎ 副 主 编 马德智 春 兰
- ◎ 主 审 李巴津

普通高等教育“十三五”规划教材
普通高等学校工程教育实践与创新系列教材

电工电子技术实训与创新

丛书策划：郭连考
主 编：寇志伟
副主 编：马德智 春 兰
主 审：李巴津
参 编：徐明娜 巴特尔
 赵卫国 李文军

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书针对当前工程教育的发展趋势与高等学校学分制改革的需要,根据教育部高教司组织编制的高等学校理工科本科指导性专业规范中的专业教学实践体系、大学生创新训练的相关要求及多所工科院校的电工技术、电子技术、电子工艺与测控技术实践课程的教学要求编写而成,旨在适应科学技术的发展并满足创新型人才培养的要求,增强当代工科大学生的工程素养、实践能力及创新精神。

本书以电工、电子与测控技术等学科理论为基础,以工程应用为导向,编写了集基础技能训练、工程应用训练、综合设计与创新研究于一体的理论与实践项目,主要包含电工基础、室内供配电技术、照明技术、电动机控制基础、锡焊技术、SMT技术、电子元器件、电子电路、检测技术与传感器、Multisim电路设计与仿真、Altium Designer印制电路板设计、电子产品的组装与调试、Arduino系统基础等内容。

本书既可作为高等学校的电子类、信息类与测控类专业学生的电工电子、工业过程测量与控制、电气系统设计与实训等课程的教材,也可作为电类科技创新实践、课程设计、毕业实践等环节的指导书,或供相关行业的工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术实训与创新 / 寇志伟主编. —北京:北京理工大学出版社, 2017.3 (2017.4重印)

ISBN 978-7-5682-3800-7

I. ①电… II. ①寇… III. ①电工技术-高等学校-教材②电子技术-高等学校-教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第047691号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(总编室)

82562903(教材售后服务热线)

68948351(其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 保定市中华美凯印刷有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 25.25

字 数 / 590千字

版 次 / 2017年3月第1版 2017年4月第2次印刷

定 价 / 52.00元

责任编辑 / 陈莉华

文案编辑 / 张 雪

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 王美丽

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

随着科学技术的迅速发展,各相关领域的工作也对工程技术人员提出了越来越高的综合技能要求,这就使得培养具有扎实的理论基础、科学的创新精神、基本的工程素养的复合型人才成为理工院校人才培养的关键。因此,工程教育课程在理工专业学生培养方案中的作用日趋突出。在工程教育课程体系中,电工电子类工程实践课程是最基本、最有效、最能激发学生兴趣的工程教育资源,其作用日趋凸显,是人才培养方案中不可或缺的实践环节。

电工电子技术实训与创新是理工院校培养各类型工程技术人才的工程教育核心课程,它将科学研究、实验教学、工程训练融为一体,是理论联系实际的有效途径。学生通过对电工电子技术实训与创新课程的学习,可以弥补从基础理论到工程实践之间的薄弱环节,拓展科技知识、激发学习兴趣,培养劳动安全意识、质量意识和工程规范意识,培养初步的工程设计能力和求实创新精神,提高工程素养与实践创新能力,为以后学习和从事工程技术工作奠定坚实的基础。

本书根据高等工程教育改革的深化、国家对创新型人才的需求、学校人才培养方案的改革,并结合多年的教学实践与当前电工电子技术发展的趋势,针对学生实践能力的提高和创新能力的培养而编写,凝结了编者十多年的教学心得与工程实践经验,是工程实践教学的经典教学资料。

本书由寇志伟主编并负责全书统稿,由马德智、春兰担任副主编。其中,第1章由徐明娜编写,2.1由李文军编写,2.2~2.3和第3章由马德智编写,4.1~4.2、4.4~4.5由赵卫国、寇志伟编写,4.3、第6章由巴特尔编写,第5章、第11章由春兰编写,第7~10章由寇志伟编写。

内蒙古工业大学的李巴津教授认真审阅了全书,并提出了许多建设性的建议。郭连考高级实验师策划了本套工程教育实践与创新系列教材,对本书的编写工作给予了大力支持与帮助。在此向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有诸多不足与不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

CONTENTS

第1章 电工基础	001
1.1 电能	001
1.1.1 电能的产生	001
1.1.2 电能的特点	001
1.1.3 电能的应用	002
1.2 电源	002
1.2.1 直流电源	003
1.2.2 交流电源	003
1.3 供配电基础	006
1.3.1 三相电路	006
1.3.2 电力系统	009
1.3.3 配电系统	013
1.4 安全用电	015
1.4.1 安全用电的意义	016
1.4.2 电气事故	016
1.4.3 触电事故	017
1.4.4 触电急救	022
1.4.5 电气安全技术	025
1.5 实训项目	030
1.5.1 工作台认识和检查实训	030
课后习题	031
第2章 室内供配电与照明	032
2.1 室内供配电	032

2.1.1	室内供配电方式	032
2.1.2	室内配电常用的低压电器	033
2.1.3	室内配电箱	043
2.2	室内照明	045
2.2.1	照明技术的基本概念	045
2.2.2	常见电光源	048
2.2.3	照明系统的主要电器	058
2.3	实训项目	064
2.3.1	基础配电线路实训	064
2.3.2	家庭照明实训	065
2.3.3	日光灯管安装实训	065
	课后习题	066

第3章 电动机控制基础	067
--------------------------	------------

3.1	三相交流异步电动机概述	067
3.1.1	电动机的分类	067
3.1.2	三相异步电动机的构造	068
3.1.3	三相异步电动机的工作原理概述	068
3.1.4	三相异步电动机的接线	069
3.2	常见的低压电器	070
3.2.1	刀开关	071
3.2.2	按钮开关	072
3.2.3	热继电器	074
3.2.4	自动空气开关	076
3.2.5	熔断器	078
3.2.6	交流接触器	079
3.2.7	中间继电器	082
3.3	电气原理图的组成	083
3.4	实训项目	084
3.4.1	点动线路	084
3.4.2	点动、自锁混合线路	085
3.4.3	顺序控制线路	086
3.4.4	带电气互锁的正、反转线路	087
3.4.5	典型往复运动线路	089
	课后习题	091

第 4 章 电子基本技能	092
4.1 锡焊技术	092
4.1.1 焊接技术概述	092
4.1.2 锡焊工具	094
4.1.3 焊接材料	097
4.1.4 锡焊机理	101
4.1.5 手工焊接技术	102
4.1.6 焊点的质量分析	106
4.1.7 自动焊接技术	109
4.1.8 拆焊	111
4.2 元器件引线加工技术	113
4.3 表面贴装技术	115
4.3.1 SMT 的定义	115
4.3.2 表面贴片元器件的种类	116
4.3.3 常见的贴片元器件	116
4.3.4 SMT 装配结构与工艺流程	120
4.3.5 贴片元器件的手工焊接	122
4.4 电子工程图识读	123
4.4.1 电子工程图概述	123
4.4.2 常见的电子工程图	124
4.5 实训项目	127
4.5.1 导线焊接实训	127
4.5.2 电路板焊接实训	128
4.5.3 电子工程图识读实训	129
课后习题	129
第 5 章 电子元器件	130
5.1 电子元器件概述	130
5.1.1 电子元器件的发展	130
5.1.2 无源器件与有源器件	131
5.1.3 分立器件与集成电路	132
5.2 电阻器	132
5.2.1 固定电阻器	132
5.2.2 敏感电阻器	136
5.2.3 电位器	138
5.3 电容器	140
5.3.1 电容器的种类及符号	141

5.3.2	电容器的型号命名方法	141
5.3.3	电容器的主要参数	142
5.3.4	电容器的标示方法	143
5.3.5	电容器的测量	144
5.4	电感器和变压器	145
5.4.1	电感器	145
5.4.2	变压器	148
5.5	二极管	150
5.5.1	二极管的分类和型号命名	150
5.5.2	常用二极管	151
5.5.3	二极管的主要参数	153
5.5.4	二极管的检测	153
5.6	三极管	153
5.6.1	三极管的分类及型号命名	154
5.6.2	三极管的主要参数	155
5.6.3	三极管的识别与检测	156
5.7	集成电路	156
5.7.1	集成电路的分类与型号命名	156
5.7.2	集成电路的主要参数	157
5.7.3	常用集成电路	158
5.7.4	集成电路的测量	159
5.8	电接触器件	159
5.8.1	开关	159
5.8.2	接插件	161
5.9	电声器件	163
5.9.1	扬声器	164
5.9.2	传声器	165
5.10	实训项目	167
5.10.1	固定电阻器的检测实训	167
5.10.2	开路检测电位器实训	167
5.10.3	电容器的检测实训	167
	课后习题	168

第6章	电子电路基础	169
6.1	电子电路概述	169
6.1.1	电子电路与系统	169
6.1.2	模拟电子系统	169

6.1.3 数字电子系统	170
6.1.4 混合电子系统	170
6.2 常用模拟电路	171
6.2.1 基本放大电路	171
6.2.2 集成运算放大器	174
6.2.3 滤波电路	180
6.2.4 直流稳压电路	182
6.3 模拟电子电路设计	186
6.4 实训项目	188
6.4.1 简易自动充电器的制作实训	188
6.4.2 分立元件稳压电源的制作实训	189
课后习题.....	190
第7章 检测技术与传感器	191
7.1 检测技术与传感器概述	191
7.1.1 检测技术概述	191
7.1.2 传感器的基本概念	193
7.1.3 传感器的基本特性	194
7.1.4 传感器的发展	195
7.2 电阻式传感器	196
7.2.1 应变式传感器	196
7.2.2 压阻式传感器	197
7.3 电感式传感器	198
7.4 电容式传感器	199
7.5 压电式传感器	199
7.6 热电式传感器	201
7.6.1 热电偶传感器	201
7.6.2 热电阻传感器	202
7.6.3 热敏电阻	202
7.6.4 集成温度传感器	203
7.7 光电传感器	203
7.7.1 光电效应	204
7.7.2 光电器件	204
7.7.3 固态图像传感器	207
7.7.4 光电编码器	207
7.8 磁敏传感器	208
7.8.1 霍尔传感器	208

7.8.2 磁敏电阻传感器	209
7.9 化学传感器	210
7.9.1 气体传感器	210
7.9.2 湿度传感器	210
7.10 实训项目	211
7.10.1 集成温度传感器测试实训	211
7.10.2 光敏二极管应用实训	212
7.10.3 声光控制灯电路测试实训	212
课后习题	213
第8章 电路设计与仿真	215
8.1 Multisim 11.0 概述	215
8.1.1 EDA 技术简介	215
8.1.2 Multisim 11.0 的发展	216
8.2 Multisim 11.0 的用户界面	218
8.3 Multisim 11.0 电路设计	230
8.3.1 工作界面的设置	230
8.3.2 元器件的操作	234
8.3.3 线路的连接	236
8.3.4 添加文本	238
8.3.5 子电路和层次化电路	239
8.4 Multisim 11.0 的虚拟仪器	239
8.5 Multisim 11.0 电路仿真与分析	247
8.5.1 Multisim 电路仿真分析的步骤	247
8.5.2 Multisim 常用的分析方法	248
8.5.3 仿真电路的报表	250
8.5.4 仿真电路信息的输出	253
8.6 实训项目	254
8.6.1 三相交流电路仿真实训	254
8.6.2 可调稳压电源电路仿真实训	256
8.6.3 单管共发射极放大电路仿真实训	257
8.6.4 高频小信号谐振放大器测试与仿真	259
课后习题	260
第9章 印制电路设计	261
9.1 印制电路板概述	261
9.1.1 印制电路板的组成与特点	261

9.1.2 印制电路板的分类	263
9.2 Altium Designer 基础	265
9.2.1 Altium Designer 概述	265
9.2.2 Altium Designer 09 的设计环境	266
9.2.3 Altium Designer 的系统组成	268
9.2.4 Altium Designer 的特点	269
9.3 原理图设计	270
9.3.1 原理图的设计步骤	270
9.3.2 原理图编辑器	271
9.3.3 原理图设置	273
9.3.4 原理图元器件库加载	275
9.3.5 元器件的放置与编辑	277
9.3.6 原理图的绘制	284
9.3.7 原理图的检查与报表	286
9.4 PCB 设计基础	290
9.4.1 PCB 设计流程	290
9.4.2 PCB 设计中的基本组件	291
9.4.3 PCB 编辑界面	292
9.4.4 PCB 的系统参数设置	293
9.4.5 电路板层面的设置	296
9.4.6 电路板边框的设置	298
9.4.7 元器件的封装	299
9.4.8 PCB 设计的基本规则	300
9.5 PCB 的设计	302
9.5.1 PCB 布线工具	302
9.5.2 导入网络表信息	306
9.5.3 PCB 的布局	307
9.5.4 PCB 的布线	309
9.6 PCB 设计实例	310
9.6.1 电路原理图的绘制	310
9.6.2 PCB 的设计	312
9.7 实训项目	315
9.7.1 多路稳压直流电源电路的 PCB 设计实训	315
9.7.1 线性稳压电源电路 PCB 设计实训	316
课后习题	317

第 10 章 电子产品的组装与调试	318
10.1 电子产品的组装	318
10.1.1 组装工艺概述	318
10.1.2 电子产品的结构形式	319
10.1.3 组装的连接方式	321
10.1.4 装配级别与要求	322
10.1.5 装配工艺流程	323
10.1.6 印制电路板的组装	325
10.2 电子产品的调试	329
10.2.1 调试工艺概述	329
10.2.2 静态调试	333
10.2.3 动态调试	334
10.2.4 整机性能的调试	336
10.2.5 故障检修	336
10.2.6 整机检验	339
10.3 实训项目	340
10.3.1 DS-22 调频调幅收音机读图实训	340
10.3.2 DS-22 调频调幅收音机的元器件检测实训	344
10.3.3 DS-22 调频调幅收音机组装实训	347
10.3.4 DS-22 调频调幅收音机调试实训	349
课后习题	350
 第 11 章 Arduino 系统基础	 352
11.1 Arduino 概述	352
11.1.1 什么是 Arduino	352
11.1.2 为什么使用 Arduino	354
11.1.3 Arduino 硬件	355
11.1.4 Arduino 软件	358
11.2 Arduino 的编程语言及程序结构	360
11.2.1 Arduino 语言	360
11.2.2 Arduino 程序结构	361
11.3 Arduino 语法	361
11.3.1 数据类型	361
11.3.2 常量和变量	364
11.3.3 数组	365
11.3.4 运算符	366
11.3.5 条件判断语句	368

11.3.6 循环语句	370
11.3.7 函数	373
11.3.8 输入与输出	376
11.4 实训项目	378
11.4.1 人体感应灯	378
11.4.2 呼吸灯	381
11.4.3 电子温度计	385
课后习题	387
参考文献	388

第1章

电工基础

【内容提要】

人类文明的进程，几乎就是研究和利用电的过程。电能在现代生活中是必不可少的，从工业用电到家庭中的照明、取暖以及各种电气设备的使用，可以说电能与人民生活紧密相连。电能推动了社会的进步与发展，在国民经济和人民生活发挥着重要的作用。了解电能如何产生和分类、如何预防触电事故发生等相关内容，可以更好地利用电能为人民服务。电路是电工技术和电子技术的基础，可以为后续的电子电路、电动机控制等内容的学习提供理论依据。各种电工技术都要通过一定的设备来实现，而设备需要用具体的材料制作。电工材料在设备制作、电力传输、电气绝缘等方面发挥着重大作用。

1.1 电能

1.1.1 电能的生产

电能是大自然能量循环中的一种转化形式。

能源是自然界赋予人类生存和社会发展的重要物质资源，自然界固有的原始能源称为一次能源，分为可再生能源和不可再生能源。一次能源包括煤炭、石油、天然气以及太阳能、风能、水能、地热能、海洋能、生物能等。其中，太阳能、风能、水能、地热能、海洋能、生物能等在自然界中能不断得到补充，或者可以在较短周期内再产生，属于可再生能源；煤炭、石油、天然气、核能等能源的形成要经过亿万年，在短期内无法恢复再生，属于不可再生能源。

电能是一种二次能源，主要由不可再生的一次能源转化或加工而产生。其主要的转化途径是化石能源的燃烧，将化学能转化为热能；加热水，使其汽化成蒸汽推动汽轮机，从而将热能转化为机械能；最后由汽轮机带动发电机利用电磁感应原理将机械能转化为电能。

电能因清洁安全、输送快速高效、分配便捷、控制精确等一系列优点，成为迄今人类文明史上最优质的能源，它不仅易于实现与其他能量（如机械能、热能、光能等）的相互转化，而且容易控制，便于大规模生产、远距离输送和分配，同时还是信息的载体，在现代人类生产、生活和科研活动中均发挥着不可替代的作用。

1.1.2 电能的特点

与其他能源相比，电能具有以下特点：

(1) 电能的生产 and 利用比较方便。电能可以采用大规模的工业生产方法集中获得，把其他能源转化为电能的技术相对成熟。

(2) 电能可以远距离传输，且损耗较低，输送具有实时、方便、高效等特点。

(3) 电能能够很方便地转化为其他能量，能够用于各种信号发生、传递和信息处理，实现自动控制。

(4) 电能本身的生产、传输和利用过程已实现精确可靠的自动化信息控制。电力系统各环节的自动化程度也相对较高。

1.1.3 电能的应用

电能的应用非常广泛，在工业、农业、交通运输、国防建设、科学研究及日常生活中的各个方面都有所应用。电能的生产和使用规模已成为衡量社会经济发展的重要标志。电能的主要应用有：

(1) 电能转化成机械能，作为机械设备运转的动力源。

(2) 电能转化为光和热，如电气照明。

(3) 化工、轻工业行业中的电化学产业如电焊、电镀等，生产过程中要消耗大量电能。

(4) 家用电器的普及，办公设备的电气化、信息化等，使各种电子产品深入生活，信息化产业的高速发展都使用电量急剧增加。

1.2 电源

电源是电路的源泉，它为电路提供电能。现在应用的电源有各种干电池电源、太阳能电源、风力发电电源、火力发电电源、水力发电电源、核能发电电源等，如图 1-1 所示。图 1-1 (c) 所示为风力发电机的外形，风叶在风力的推动下转动，通过传动机构带动发电机转动发出电能；图 1-1 (d) 所示为太阳能电池板，在阳光的照射下电池板的“+”“-”电极上输出电流。

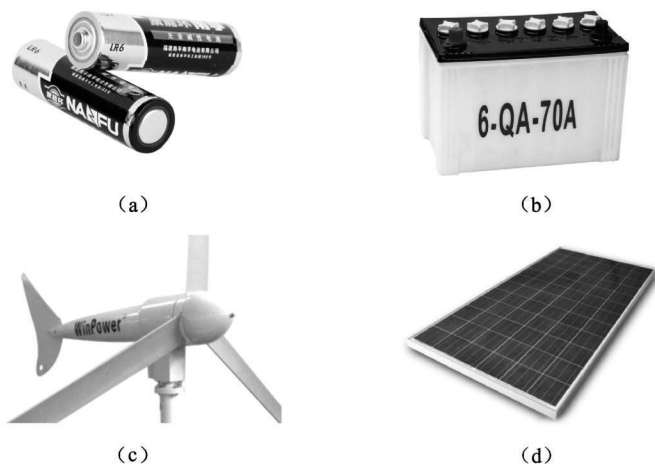


图 1-1 各种电源

(a) 干电池；(b) 蓄电池；(c) 风力发电机；(d) 太阳能电池板

1.2.1 直流电源

直流电源是电压和电流的大小和方向不随时间变化的电源，是维持电路中形成稳恒电流的装置。常见的直流电源有干电池、蓄电池、直流发电机等。

为了更直观地描述直流电源的特性，可以用一种由理想电路元件组成的电路模型来表示直流电源。常用的有电压源和电流源两种。

1. 电压源

(1) 定义。电压源是一种理想的电路元件，其两端电压总能保持定值或一定的时间函数，电压值与流过它的电流无关的元件叫理想电压源。

(2) 电路符号。电压源的图形符号如图 1-2 所示。

(3) 理想电压源的电压、电流关系。电源两端的电压由电源本身决定，与外电路无关，且与流经它的电流方向、大小无关。通过电压源的电流由电源及外电路共同决定。理想电压源的伏安特性曲线如图 1-3 所示。

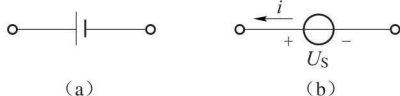


图 1-2 电压源的图形符号

(a) 直流电源；(b) 理想电压源

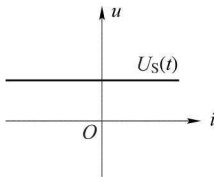


图 1-3 理想电压源的伏安特性曲线

2. 电流源

(1) 定义。电流源是另一种理想的电路元件，不管外部电路如何，其输出电流总能保持定值或一定的时间函数，其值与它的两端电压无关的元件被定义为理想电流源。

(2) 电路符号。电流源的图形符号如图 1-4 所示。

(3) 理想电流源的电压、电流关系。电流源的输出电流由电源本身决定，与外电路无关，且与它两端的电压无关。电流源两端的电压由其本身输出电流及外部电路共同决定。理想电流源的伏安特性曲线如图 1-5 所示。

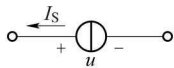


图 1-4 电流源的图形符号

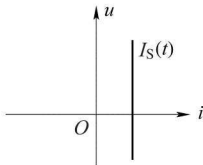


图 1-5 理想电流源的伏安特性曲线

1.2.2 交流电源

日常生产生活中的用电多为交流电，这种交流电一般指的是正弦交流电。

正弦信号是一种基本信号，任何复杂的周期信号都可以分解为按正弦规律变化的分量。因此，对正弦交流电的分析与研究具有重要的理论价值和实际意义。

正弦交流电量是电流、电压随时间按正弦规律作周期变化的电量。它是由交流发电机或正弦信号发生器产生的。

以电流为例，其瞬时值表达式为

$$i(t) = I_m \cos(\omega t + \psi) \tag{1-1}$$

其波形图如图 1-6 所示。式 (1-1) 中， I_m 为正弦量的振幅，是正弦量在整个振荡过程中达到的最大值； $(\omega t + \psi)$ 为随时间变化的角度，称为正弦量的相位或相角； ω 为正弦量的角频率，表示正弦量的相位随时间变化的角速度； ψ 为正弦量在 $t=0$ 时刻的相位，称为正弦量的初相位。

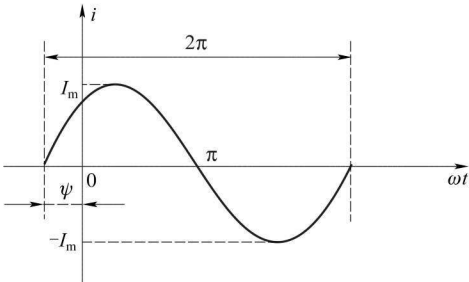


图 1-6 正弦电流波形图

幅值 I_m 、角频率 ω 和初相位 ψ 称为正弦量三要素。对于任意正弦交流电量，当其幅值 I_m 、角频率 ω 和初相位 ψ 确定后，该正弦量就能完全确定。

1. 幅值

幅值（振幅、最大值）：反映正弦量变化过程中所能达到的最大幅度。

正弦量在任一瞬间的值称为瞬时值，用小写字母来表示，如 i 、 u 、 e 分别表示电流、电压及电动势的瞬时值。瞬时值中最大的值称为幅值或最大值，如电流、电压及电动势的幅值用 I_m 、 U_m 、 E_m 表示。

2. 周期与频率

(1) 周期：正弦量变化一次所需的时间称为周期，用 T 表示，单位为 s（秒）。

(2) 频率：每秒内变化的次数称为频率，用 f 表示，单位为 Hz（赫兹）。

频率是周期的倒数，即

$$f = \frac{1}{T} \tag{1-2}$$

在我国和大多数国家，电网频率都采用交流 50 Hz 作为供电频率，有些国家如美国、日本等供电频率为 60 Hz。在其他不同领域，使用的频率也不同（见表 1-1）。

表 1-1 不同领域使用的频率

领域	使用频率
高频炉频率	200 ~ 300 kHz
中频炉频率	500 ~ 8 000 Hz
高速电动机电源频率	1 500~2 000 kHz
收音机中波段	530~1 600 kHz
收音机短波段	2.3~23.0 MHz
移动通信	900 MHz、1 800 MHz
无线通信	300 GHz