

高等院校
电子信息应用型
规划教材

电路与电子技术

主 编 焦素敏

副主编 王彩虹 王学梅 李国平



清华大学出版社

高
电

规划教材

电路与电子技术

焦素敏 主 编
王彩红 王学梅 李国平 副主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书包含电学课程中的电路分析、模拟电子技术、数字电子技术和 EDA 技术 4 部分内容,属于“高集成度”教材,适用于对上述内容均有需求,但学时数又受限的专业。

本书分为上下两篇,上篇介绍电路与模拟电子技术基础知识和基本理论与方法,第 1~3 章为电路部分,包含电路分析基础、动态电路分析和正弦稳态电路分析;第 4~6 章是模拟部分,讲述常用电子元器件及其应用、集成运算放大器及其应用和集成电源电路等内容。下篇分 7 章讲述数字电路与 EDA 技术的基本内容,本书尝试将二者充分有机融合,用 EDA 的方法讲述数字电路的内容。

本书可作为高等院校计算机类专业、非电类专业的教材或相关技术的培训教材。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电路与电子技术/焦素敏主编.--北京:清华大学出版社,2015

高等院校电子信息应用型规划教材

ISBN 978-7-302-38120-4

I. ①电… II. ①焦… III. ①电路理论—高等学校—教材 ②电子技术—高等学校—教材

IV. ①TM13 ②TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 224459 号

责任编辑:王剑乔

封面设计:傅瑞学

责任校对:袁 芳

责任印制:王静怡

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795764

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:24.5

字 数:564 千字

版 次:2015 年 3 月第 1 版

印 次:2015 年 3 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:49.00 元

产品编号:055543-01

计算机类专业在教学改革过程中, 根据需求不断压缩和整合电子类课程的内容和学时, 如我校将原来的“电路与模拟电子技术”和“数字电子技术”两门课整合为“电路与电子技术”(必修课, 72 学时), 但缺乏相应的教材支持。为此, 本书将电路分析、模拟电子技术和数字电子技术知识有机地组织起来, 并在最重要的数字电路部分进行创新性改革和大胆尝试, 融入现代电子技术的自动化设计方法——EDA 技术, 利用计算机类学生软件使用上手快的特点, 不仅能使数字电路的教学更形象直观, 同时也能学习新的 EDA 技术, 有利于调动学生的学习积极性, 提高课程学习效果。

本书分为上、下两篇, 上篇介绍电路与模拟电子技术相关知识, 下篇讲解数字电路和电子设计自动化(EDA)技术的相关知识。对计算机专业而言, 下篇数字电路是教学重点, 上篇的电路与模拟电子技术为下篇提供必要的基础知识和电路分析能力。为此, 本书对电路与模拟电子技术知识进行有机组织并精简, 既为后续学习打下必要的基础, 又不过于关注课程的系统和完整性, 做到取舍合理, 难易适度。数字电路部分则结合计算机专业的特点和现代电子技术的发展方向组织内容, 在强调数字逻辑电路基本知识和概念与分析方法的基础上, 简化或去掉中小规模集成电路内部工作原理的介绍和分析, 用实例着重说明 IC 的应用方法, 以加强学生对概念的理解并激发学生的学习兴趣, 真正使学生能够学以致用。另外, 针对数字电路的每一种常用逻辑单元, 都以 EDA 技术的方法给予设计说明, 保证学生在学习基本数字逻辑知识的同时, 掌握相应的现代设计方法, 起到事半功倍的作用。在编写手法上, 彻底摒弃数字电路和 EDA 技术简单组合、相互割裂的方式, 采用二者紧密联合、相互依托的写作风格, 使二者能够浑然一体。仅简要介绍芯片的应用方法, 突出现代数字电子技术设计方法——EDA 技术, 这种技术以大规模可编程逻辑器件为设计载体, 以计算机作为设计平台, 以 EDA 工具软件作为设计环境, 以 HDL 语言等作为主要逻辑功能描述方法, 而计算机类专业学生的软件使用能力和编程能力都比较强, 因此非常适合计算机类专业学生学习。

本书把电路分析、模拟电子技术、数字电子技术和 EDA 技术等内容有机

组织起来,详略得当,重点突出,能使读者在教学时数有限的情况下,较好地掌握电路与电子技术方面的基本概念、基本知识和基本技能。不仅如此,本书还充分体现当代电子技术的发展现状,紧紧围绕计算机类专业的特点和需求组织教学内容,即以数字电子技术为重点,而电路和模拟部分尽量简明扼要,并突出现代 EDA 技术在数字电路中的应用。

本书由焦素敏担任主编,并完成绪论和第 7~10 章的编写工作。第 1~3 章由王学梅编写;第 4~6 章由王彩红编写;第 11~13 章由李国平编写。编写过程中得到了学校有关领导和同事的大力支持和帮助,参考了许多学者和专家的著作及研究成果,在此谨向他们表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请读者批评、指正。

编 者

2015 年 1 月

目 录

CONTENTS

第 0 章 绪论	1
0.1 电路与电子技术概述	1
0.2 电路与电子技术的作用与地位	2
0.3 电路与电子技术的发展方向	4
0.4 学好本课程的关键环节	6

上篇 电路与模拟电子技术

第 1 章 电路分析基础	11
1.1 电路的基本概念和基本定律	11
1.1.1 电路概述	11
1.1.2 电路中的常用物理量	12
1.1.3 电路中的基本元器件及伏安特性	15
思考与练习	21
1.2 基尔霍夫定律	22
1.2.1 基尔霍夫电流定律(KCL)	22
1.2.2 基尔霍夫电压定律(KVL)	24
1.2.3 基尔霍夫定律的应用之一——支路电流法	25
1.2.4 基尔霍夫定律的应用之二——节点电压法	26
思考与练习	28
1.3 电路的分析方法	29
1.3.1 电路的等效变换	29
1.3.2 叠加定理	31
1.3.3 戴维南定理	33
思考与练习	34
1.4 受控源及含受控源电路的分析	34
1.4.1 受控源及其类型	35
1.4.2 含受控源电路的分析	36

思考与练习	37
习题	37
第 2 章 动态电路分析	41
2.1 动态过程及初始值的确定	41
2.1.1 换路定律	42
2.1.2 动态过程的初始值计算	42
思考与练习	43
2.2 一阶 RC 电路的动态分析	43
2.2.1 RC 电路的零状态响应	43
2.2.2 RC 电路的零输入响应	46
2.2.3 一阶 RC 电路的全响应	49
思考与练习	51
2.3 一阶 RL 电路的动态分析	51
2.3.1 一阶 RL 电路的零状态响应	51
2.3.2 一阶 RL 电路的零输入响应	53
2.3.3 一阶 RL 电路的全响应	55
思考与练习	55
2.4 一阶电路动态分析的三要素法	56
思考与练习	57
2.5 RC 电路对矩形波激励的响应	58
2.5.1 RC 微分电路	58
2.5.2 RC 积分电路	59
思考与练习	60
习题	60
第 3 章 正弦稳态电路分析	63
3.1 正弦量及其相量表示	63
3.1.1 正弦交流电的概念	63
3.1.2 正弦交流电的相量表示法	67
思考与练习	70
3.2 元件的伏安关系与基尔霍夫定律的相量形式	70
3.2.1 电阻元件伏安关系的相量形式	70
3.2.2 电容元件伏安关系的相量形式	72
3.2.3 电感元件伏安关系的相量形式	74
3.2.4 基尔霍夫定律的相量形式	77
思考与练习	78

3.3 RLC 串并联电路分析	79
3.3.1 RLC 串联电路及复阻抗	79
3.3.2 RLC 并联电路及复导纳	82
思考与练习	84
3.4 正弦交流电路的分析计算	84
3.4.1 电路的等效复阻抗与复导纳	84
3.4.2 正弦交流电路的分析	85
3.4.3 正弦交流电路的功率	87
思考与练习	89
3.5 正弦交流电路中的谐振	89
3.5.1 串联电路的谐振	90
3.5.2 并联电路的谐振	91
思考与练习	92
习题	92
第 4 章 常用电子元器件及其应用	95
4.1 二极管及其应用	95
4.1.1 二极管的基本结构	95
4.1.2 二极管的伏安特性	95
4.1.3 二极管的参数	97
4.1.4 特殊二极管	98
4.1.5 二极管的基本应用	101
思考与练习	103
4.2 三极管及其应用	103
4.2.1 三极管的结构与特性	103
4.2.2 三极管放大电路的分析	108
思考与练习	111
4.3 场效应管及其应用	112
4.3.1 场效应管的结构和外部特性	112
4.3.2 场效应管的主要参数	117
思考与练习	117
习题	118
第 5 章 集成运算放大器及其应用	121
5.1 集成运算放大器的基本知识	121
5.1.1 集成运放的电路结构特点	121
5.1.2 集成运算放大器的基本组成及常用集成运算放大器芯片	122

5.1.3	集成运算放大器的电压传输特性	123
5.1.4	集成运算放大器的主要技术指标	124
5.1.5	理想集成运算放大器的特点	125
	思考与练习	126
5.2	放大电路中的反馈	126
5.2.1	反馈的概念	126
5.2.2	正负反馈类型及判断	127
5.2.3	负反馈对放大电路性能的影响	128
	思考与练习	129
5.3	集成运算放大器的线性应用	130
5.3.1	比例运算电路	131
5.3.2	加法运算电路	131
5.3.3	减法运算电路	132
5.3.4	积分与微分运算电路	132
	思考与练习	133
5.4	集成运算放大器的非线性应用	133
5.4.1	电压比较器	133
5.4.2	波形产生电路	137
	思考与练习	141
	习题	141
* 第 6 章	集成电源电路	144
6.1	集成线性稳压电源	144
6.1.1	串联反馈型稳压电源	144
6.1.2	集成稳压器及其应用	146
	思考与练习	152
6.2	开关型稳压电源	152
6.2.1	串联开关型稳压电路	152
6.2.2	并联开关型稳压电路	154
	思考与练习	155
6.3	逆变电源简介	155
6.3.1	逆变的概念	155
6.3.2	电压型单相桥式逆变电路	156
	思考与练习	157
	习题	157

下篇 数字电路与 EDA 技术

第 7 章 数字逻辑基础	161
7.1 数字系统与编码	161
7.1.1 数字与模拟	161
7.1.2 数制及其转换	161
7.1.3 码制及常用编码	164
思考与练习	165
7.2 逻辑关系与逻辑代数	166
7.2.1 与、或、非三种基本逻辑运算关系	166
7.2.2 常用复合逻辑关系	169
7.2.3 逻辑代数的公式和定理	171
7.2.4 逻辑函数的表达方式及相互转换	172
思考与练习	174
7.3 逻辑函数的化简	175
7.3.1 逻辑函数的公式化简法	175
7.3.2 使用卡诺图化简逻辑函数	176
思考与练习	183
7.4 逻辑门电路	183
7.4.1 TTL 集成门电路	183
7.4.2 CMOS 集成门电路	187
7.4.3 OC 门和三态门	189
思考与练习	192
习题	192
第 8 章 EDA 技术基础	194
8.1 硬件描述语言 VHDL	194
8.1.1 VHDL 程序结构	194
8.1.2 VHDL 语言要素	198
8.1.3 VHDL 顺序语句	206
8.1.4 VHDL 并行语句	211
思考与练习	216
8.2 EDA 工具软件 MAX+plus II	217
8.2.1 MAX+plus II 的设计流程	217
8.2.2 原理图输入设计示例	218
8.2.3 VHDL 输入设计示例	226
8.2.4 MAX+plus II 的旧式函数库	236

思考与练习	238
-------------	-----

第 9 章 常用组合逻辑电路及 EDA 实现 239

9.1 组合逻辑电路的分析与设计方法	239
9.1.1 组合逻辑电路的分析方法	239
9.1.2 组合逻辑电路的设计方法	241
9.1.3 组合逻辑电路的 EDA 设计	242
思考与练习	243
9.2 加法器	243
9.2.1 二进制数的加、减、乘、除运算及补码	243
9.2.2 加法器原理与集成芯片	245
9.2.3 加法电路的 EDA 实现方法	248
思考与练习	250
9.3 编码器	250
9.3.1 编码器的概念	250
9.3.2 编码器原理与电路	251
9.3.3 编码器集成芯片及应用	252
9.3.4 用 VHDL 描述实现 8/3 线优先编码器	254
思考与练习	255
9.4 译码器	255
9.4.1 二进制译码器	255
9.4.2 二-十进制译码器	257
9.4.3 译码器集成芯片及应用	257
9.4.4 显示译码器	259
9.4.5 用 VHDL 实现的译码器及仿真结果	262
思考与练习	264
9.5 数据分配器和数据选择器	264
9.5.1 数据分配器	264
9.5.2 数据选择器	265
9.5.3 用 EDA 技术实现数据分配器和数据选择器	270
思考与练习	272
9.6 数值比较器	272
9.6.1 数值比较器原理	272
9.6.2 集成数值比较器	273
9.6.3 使用 IF-THEN-ELSE 的 VHDL 比较器	274
思考与练习	275
9.7 奇偶校验产生器/检测器	275
9.7.1 奇偶校验器集成芯片	276

9.7.2 用 EDA 方法实现奇偶校验	277
思考与练习	278
习题	279
第 10 章 时序逻辑电路及其 EDA 实现	281
10.1 触发器	281
10.1.1 基本 RS 触发器	281
10.1.2 同步触发器	283
10.1.3 主从 JK 触发器	286
10.1.4 边沿触发器	290
10.1.5 触发器的逻辑功能与集成芯片	290
10.1.6 触发器的 EDA 实现方法	293
思考与练习	295
10.2 时序逻辑电路的分析	296
10.2.1 时序逻辑电路概述	296
10.2.2 时序逻辑电路的分析方法	296
思考与练习	298
10.3 计数器	298
10.3.1 计数器工作原理	298
10.3.2 计数器集成芯片及其应用	301
10.3.3 计数器的 EDA 实现方法	306
思考与练习	309
10.4 寄存器和移位寄存器	310
10.4.1 寄存器	310
10.4.2 移位寄存器	310
10.4.3 用 VHDL 设计移位寄存器	314
10.4.4 顺序脉冲发生器	315
思考与练习	316
10.5 用 VHDL 实现状态机	316
思考与练习	320
习题	320
第 11 章 半导体存储器和可编程逻辑器件	324
11.1 随机存取存储器 RAM	324
11.1.1 RAM 的结构和工作原理	324
11.1.2 RAM 的扩展	326
11.1.3 SRAM 的 VHDL 设计与仿真	327
思考与练习	328

11.2	只读存储器 ROM	328
11.2.1	ROM 的结构和工作原理	329
11.2.2	ROM 的扩展	331
11.2.3	ROM 的 VHDL 描述与仿真	332
	思考与练习	333
11.3	可编程逻辑器件 PLD	333
11.3.1	PLD 的基本结构和分类	333
11.3.2	PAL 和 GAL	334
11.3.3	CPLD/FPGA 简介	339
	思考与练习	342
	习题	342
第 12 章	脉冲波形的产生与变换	343
12.1	555 定时器	343
12.1.1	555 定时器的电路结构	343
12.1.2	555 定时器的工作原理	343
	思考与练习	345
12.2	多谐振荡器	345
12.2.1	由 555 定时器组成的多谐振荡器	345
12.2.2	石英晶体多谐振荡器	347
	思考与练习	348
12.3	单稳态触发器	348
12.3.1	用 555 定时器组成单稳态触发器	348
12.3.2	集成单稳态触发器	349
12.3.3	单稳态触发器的应用	351
	思考与练习	353
12.4	施密特触发器	353
12.4.1	由门电路组成的施密特触发器	353
12.4.2	用 555 定时器构成的施密特触发器	354
12.4.3	集成施密特触发器	355
12.4.4	施密特触发器的应用	356
	思考与练习	358
	习题	358
第 13 章	数/模和模/数转换	360
13.1	D/A 转换器	360
13.1.1	二进制权电阻网络 D/A 转换器	360
13.1.2	倒 T 形电阻网络 D/A 转换器	362

13.1.3	D/A 转换器的主要性能指标	363
13.1.4	集成 D/A 转换器	364
	思考与练习	368
13.2	A/D 转换器	368
13.2.1	概述	368
13.2.2	常用的 A/D 转换器类型	369
13.2.3	集成 A/D 转换器及其应用	374
	思考与练习	376
	习题	377
	参考文献	378

绪 论

0.1 电路与电子技术概述

1. 电路与电子技术课程设置的必要性

电路与电子技术类课程是电子信息类专业学生必修的若干门专业基础课程,也是高等理、工、农、医院校非电类专业与计算机专业极其重要的技术基础课程。通常电类专业通过电路、模拟电子技术、数字电子技术和 EDA 技术等多门课程进行相关内容的教学,以加强对相关知识的掌握,但同时也需要有足够多的学时来保障;对非电类专业(如计算机类、机电类专业)的学生来说,电路与电子技术的基本知识和技能也是需要了解和掌握的,这些知识不仅仅是学习后续计算机等相关专业课程的重要基础课,也是现代信息化社会必须具备的常规知识。因此电路与电子技术也是很多其他专业的一门必修课程,但受学时限制,这些专业(如计算机类)不可能像电类专业那样分门别类开设多门课程,而多采取合并成两门或一门进行教学。随着各专业必修课程的不断增加,越来越多的学校给予相关课程的学时都不断压缩。于是,将电路与电子技术合并成一门课程进行教学,所用学时更少,内容衔接更顺畅、更精简,集成度更高,适合计算机类专业使用。

本书所述的电路与电子技术包含了电路分析、模拟电子技术、数字电子技术和 EDA 技术 4 部分知识,属于“高集成度”课程,知识点多,综合性强,教学难度大。如何在有限的教学时间内有效地学习和掌握电路与电子技术相关知识,并能紧跟电子技术的飞速发展,掌握新技术、新方法,是该课程面临的主要问题,也是急需解决的重要问题。针对这些问题,本书在内容的组织和教学方法上进行了一些改革和尝试,以期达到满意的教学效果。

2. 电路与电子技术内容简介

电路是由电器元件构成的电流通路。电路的类型多种多样,根据不同的分类原则,电路可分为直流电路和交流电路;也可分为稳态电路和暂态电路,当然还可以分为模拟电路和数字电路等其他类型。电路的主要内容是研究电路的内在规律和分析计算方法,为学习电子技术打下必要的基础。

电子技术是研究半导体器件及其应用的科学技术。电子电路主要由半导体器件(二极管、三极管和场效应管)和电阻、电容等元件构成。根据半导体器件的工作状态(线性放大或开关)不同,可将电子电路分为模拟电路和数字电路,如图 0-1 所示。模拟电路处理

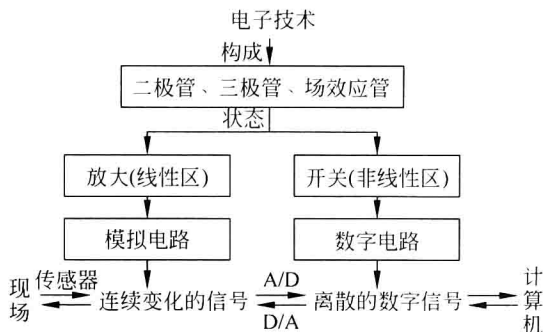


图 0-1 电子电路分类示意图

的是连续变化的模拟电信号；而数字电路加工处理的是离散的数字信号。现实中的物理量多为模拟信号，可经过模/数转换器转换成数字信号，然后送入计算机进行加工处理；计算机处理的结果又可以经过数/模转换器转换成模拟量返回现场。

计算机硬件系统实质上就是一种复杂的数字电路，因此，对计算机类专业而言，数字电路是教学重点，电路与模拟电子技术为数字电路提供必要的基础知识和电路分析能力。为此，电路与模拟电子技术知识必须精简，并进行有机组织，既要为后续学习打下坚实的基础，又不能过于重视课程的系统和完整性，应做到取舍合理、把握有度。数字电路部分要结合计算机专业的特点和现代电子技术的发展方向组织内容，在强调基本概念和分析方法的基础上，对于传统的中小规模集成电路的内部组成原理不作介绍，仅简要介绍芯片的应用方法，突出现代数字电子技术设计方法——EDA 技术。这种技术以大规模可编程逻辑器件为设计载体，以计算机作为设计平台，以 EDA 工具软件作为设计环境，以 HDL 语言等作为主要逻辑功能描述方法，而计算机类专业学生的软件使用能力和编程能力都比较强，因此非常适合计算机类专业学生学习。

电路与电子技术以计算机类学生为对象，一方面，在介绍必要的电路和模拟电子技术基本知识的基础上，全面介绍数字逻辑电路的基本知识和概念，强化基本概念，简化或去掉 IC 内部电路的介绍和分析，着重应用和理解，同时加入很多实用例子，以加强学生对概念的理解并激发学生的学习兴趣，真正使学生能够学以致用。另一方面，针对数字电路的每一种常用逻辑单元，都以 EDA 技术的方法给以设计说明，保证学生在学习基本数字逻辑知识的同时，掌握相应的现代设计方法，起到事半功倍的作用。在教材的编写手法上，彻底摒弃数字电路和 EDA 简单组合、相互割裂的方式，采用二者紧密联合、相互依托的写作风格，使二者能够浑然一体。

0.2 电路与电子技术的作用与地位

1. 电路与电子技术的重要性

纵观人类社会发展的文明史，一切生产方式和生活方式的重大变革都是由于新的科学发明和新技术的产生而引发的。当今社会是信息社会，信息与材料和能源一起，是人类

社会的三大资源之一。信息革命是以数字化和网络化为特征的,数字化可以大大改善人们对信息的利用,更好地满足人们对信息的需求;而网络化则使人们更方便地利用信息,使整个地球成为一个“地球村”。以数字化和网络化为特征的信息技术与一般技术不同,它具有极强的渗透性和基础性,可以渗透和改造一切产业和行业,改变着人类的生产和生活方式,改变着经济形态和社会、政治、文化等各个领域。因此,在各行各业信息化技术和自动化应用程度空前普及的 21 世纪,电路与电子技术作为其支柱技术,具有很强的重要性。

电路与电子技术之所以重要,与其应用广泛密切相关。如工业企业的电铸、电焊、电磁冶炼、电解电镀、机电电钻及自动化生产线的控制技术等;农、医行业的电力排灌技术、生物电技术、电磁理疗技术、心脑电图技术、制氧起搏技术、自动手术技术等;文化、娱乐行业的电影电视技术、灯光音响技术、录音录像设备、电子乐器技术等;交通、运输方面的巡航导航技术、电喷控制技术、安全气囊技术等;通信领域的电报电话技术、无线通信设备、互联网技术等;日常生活方面的电灯、电扇、空调、电冰箱、电饭锅、电磁炉及智能家居与安防系统等,电路与电子技术都在其中扮演着重要的角色。

电路与电子技术之所以重要,还因为几乎所有现代科学技术的新成就都与之有着密切的联系。人造卫星、宇宙飞船、航天技术、激光雷达、全息照相、人工降雨、透视探伤、自动控制、无人商场……它不但可以将人们从大量的、简单的、繁重的体力劳动中解放出来,而且早已逾越人体机能的限制,可以完成人们过去连想都不敢想的智能化复杂任务。

电路与电子技术之所以重要,还因为作为高等理、工、农、医院校的学子,必须有坚实的电路与电子技术基础知识和一定的电子技术技能素质,才能学好后续相关专业课程,特别是自动化控制程度较高的专业课程;才能胜任与本专业相关的现代化工程应用工作;才有可能使培养的新一代大学生发展成为具有开拓精神的社会主义建设的有用人才。

2. 电路与电子技术的优越性

电路与电子技术的应用之所以如此广泛,是因为它与其他形式的技术相比,具有无法比拟的优越性。

(1) 电量转换容易

无论是其他形式的能量转换为电能,还是电能向其他形式能量的转化;无论是交流电与直流电间的转换,还是高、低压间的相互转换,都相当容易。

(2) 电量传输方便

无论电量是强还是弱,是交流还是直流,是模拟量还是数字量,其传输是有线还是无线,其他技术都不能和电路电子技术相比。可谓“招之即来、挥之即去”。

(3) 电量便于控制

从简单粗笨的继电器接触器控制技术,经晶体管和晶闸管的无触点控制技术,到可编程控制(PLC)技术;从分离元件控制电路,经中小规模集成电路,到计算机控制技术及嵌入式系统,再到智能化机器人控制设备,无不是电子技术的杰作。军事上的制导设施、飞机乃至汽车的无人驾驶、外国医疗专家隔洋操控机械手给中国患者做手术等,其控制速度之快、精度之高、智能化程度之高,均为电子技术之所为。