

全国大学生电子设计竞赛培训教程第1分册

基本技能训练与 综合测评

高吉祥 苏 钢 主 编
王 彦 副主编
傅丰林 主 审



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

全国大学生电子设计竞赛培训教程第1分册

基本技能训练与 综合测评

高吉祥 苏 钢 主 编◎

王 彦 副主编◎

黄国玉 冯 璐 曾玫贞
编◎

王华明 邓 蓉 张 涛

傅丰林 主 审◎



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是全国大学生电子设计竞赛培训教程第1分册,是针对全国大学生电子设计竞赛的特点和需求编写的。全书共7章,内容包括绪论、电子设计竞赛制作基础训练、基本单元电路的设计与制作、单片机系统的设计与制作、可编程逻辑器件系统的设计与制作、电子设计竞赛作品设计与制作的方法和步骤、全国大学生电子设计竞赛综合测评。

本书内容丰富实用,叙述条理清楚、工程性强,可作为高等学校电子信息、自动化类、电气类、计算机类专业的大学生参加全国及省级电子设计竞赛、课程设计与制作、毕业设计的参考书,以及电子工程各类技术人员的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

全国大学生电子设计竞赛培训教程. 第1分册, 基本技能训练与综合测评/高吉祥, 苏钢主编.

北京: 电子工业出版社, 2019.5

ISBN 978-7-121-29497-6

I. ①全… II. ①高… ②苏… III. ①电子电路—电路设计—高等学校—教材 IV. ①TN702

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第037822号

责任编辑: 谭海平 特约编辑: 陈晓莉

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 13.75 字数: 352千字

版 次: 2019年5月第1版

印 次: 2019年5月第1次印刷

定 价: 49.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: (010) 88254535, wylj@phei.com.cn。



前 言

全国大学生电子设计竞赛是由教育部高等教育司、工业和信息化部人事教育司共同主办的，面向全国高等学校本科、专科学生的一项群众性科技活动，目的在于推动普通高等学校在教学中培养大学生的创新意识、协作精神和理论联系实际的能力，加强学生工程实践能力的训练和培养；鼓励广大学生踊跃参加课外科技活动，把主要精力吸引到学习和能力培养上来，促进高等学校形成良好的学习风气；同时，也为优秀人才脱颖而出创造条件。

全国大学生电子设计竞赛自 1994 年至今已成功举办 13 届，深受全国大学生的欢迎和喜爱，参赛学校、参赛队和参赛学生的数量逐年增加。对参赛学生而言，电子设计竞赛和赛前系列培训，使他们获得了电子综合设计能力，巩固了所学知识，培养了他们用所学理论指导实践，团结一致，协同作战的综合素质；通过参加竞赛，参赛学生可以发现学习过程中的不足，找到努力的方向，为毕业后从事专业技术工作打下更好的基础，为将来就业做好准备。对指导老师而言，电子设计竞赛是新、奇、特设计思路的充分展示，更是各高等学校之间电子技术教学、科研水平的检验，通过参加竞赛，可以找到教学中的不足之处。对各高等学校而言，全国大学生电子设计竞赛现已成为学校评估不可缺少的项目之一，这种全国大赛是提高学校整体教学水平、改进教学的一种好方法。

全国大学生电子设计竞赛只在单数年份举办。然而，近年来，许多地区、省、市在双数年份也单独举办地区性或省内电子设计竞赛，许多学校甚至每年举办多次电子设计竞赛，目的在于通过这类电子设计大赛，让更多的学生受益。

全国大学生电子设计竞赛组委会为组织好这项赛事，于 2005 年编写了《全国大学生电子设计竞赛获奖作品选编（2005）》。我们在组委会的支持下，从 2007 年开始至今，编写了“全国大学生电子设计竞赛培训教程”（共 14 册），深受参赛学生和指导教师的欢迎与喜爱。

据不完全统计，培训教程出版发行后，已被数百所高校采用为全国大学生电子设计竞赛及各类电子设计竞赛培训的主要教材或参考教材。读者纷纷来信、来电表示，这套教材写得很成功、很实用，同时也提出了许多宝贵的意见。因此，从 2017 年开始，我们对培训教程进行了整编。新编写的 5 本培训教程包括《基本技能训练与综合测评》《模拟电子线路与电源设计》《数字系统与自动控制系统设计》《高频电子线路与通信系统设计》《电子仪器仪表与测量系统设计》。

《基本技能训练与综合测评》是新编培训教程的第 1 分册，是在前几版的基础上撰写而成的，删除了一些陈旧的内容，新增了基本单元电路设计和历届综合测评的内容。全书共 7 章，内容包括绪论、电子设计竞赛制作基础训练、基本单元电路的设计与制作、单片机系统的设计与制作、可编程逻辑器件系统的设计与制作、电子设计竞赛作品设计与

制作的方法和步骤、全国大学生电子设计竞赛综合测评。

本书由高吉祥、苏钢担任主编，王彦担任副主编；黄国玉、冯璐、曾玫贞、王明华、邓蓉、张涛等人参加了部分章节的编写；西安电子科技大学傅丰林教授在百忙之中对本书进行了主审；长沙学院电子信息与电气工程学院院长刘光灿教授为本书的立项和组织做了大量工作；北京理工大学罗伟雄教授、武汉大学赵茂泰教授等为本书的编写出谋划策，对本书的修订提出了宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促，本书难免存在疏漏和不足之处，欢迎广大读者和同行批评指正。

编 者



目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 全国大学生电子设计竞赛的目的和意义	1
1.2 竞赛的命题原则与要求	1
1.3 竞赛题涉及的知识面与知识点	3
1.4 出题趋势	4
第 2 章 电子设计竞赛制作基础训练	5
2.1 常用电子电路元器件的识别与主要性能参数	5
2.1.1 电阻器的简单识别与型号命名法	5
2.1.2 电容器的简单识别与型号命名法	10
2.1.3 电感器的简单识别与型号命名法	15
2.1.4 半导体器件的简单识别与型号命名法	16
2.1.5 半导体集成电路型号命名法	22
2.2 装配工具及使用方法	25
2.2.1 装配工具	25
2.2.2 焊接材料	26
2.2.3 焊接工艺和方法	27
2.3 印制电路板的设计与制作	31
2.3.1 印制电路板设计	31
2.3.2 电路板简介	32
2.3.3 使用 Create-SEM 高精度电路板制作仪制板	34
第 3 章 基本单元电路的设计与制作	40
3.1 集成直流稳压电源	40
3.1.1 直流稳压电源的基本原理	40
3.1.2 三端固定式正压稳压器	41
3.1.3 三端固定式负压稳压器	42
3.1.4 三端可调式稳压器	42
3.1.5 正、负输出稳压电源	43



3.1.6	斩波调压电源电路	44
3.2	运算放大器电路	46
3.2.1	运算放大器的基本特性	46
3.2.2	基本运算放大器应用电路	48
3.2.3	测量放大电路	50
3.3	信号产生电路	52
3.3.1	分立模拟电路构成矩形波产生电路	52
3.3.2	正弦波产生电路	53
3.3.3	三角波产生电路	54
3.3.4	多种信号产生电路	54
3.4	信号处理电路	55
3.4.1	有源滤波电路	55
3.4.2	电压-频率、频率-电压变换电路	56
3.4.3	电流-电压变换电路	58
3.5	声音报警电路	58
3.5.1	采用分立元件制作的声音报警电路	58
3.5.2	与单片机接口的声音报警电路与程序	59
3.5.3	与可编程逻辑器件接口的声音报警电路和程序	60
3.6	传感器及其应用电路	61
3.6.1	传感器种类介绍	61
3.6.2	霍尔传感器与应用电路	61
3.6.3	金属传感器与应用电路	63
3.6.4	温度传感器与应用电路	65
3.6.5	光电传感器与应用电路	70
3.6.6	超声波传感器与应用电路	72
第4章	单片机系统的设计与制作	78
4.1	单片机系统的设计与制作	78
4.1.1	单片机系统硬件设计	78
4.1.2	单片机系统时钟电路和复位电路简介	79
4.2	人机接口技术	83
4.2.1	A/D 采样键盘电路及其程序设计	83
4.2.2	矩阵式 4×4 键盘电路及其程序设计	85
4.2.3	专用按键显示芯片电路及其程序设计	87
4.2.4	汉字液晶接口电路及程序设计	95
4.3	模数、数模转换电路及其程序设计	105
4.3.1	STC12C5A60S2 单片机内部的 10 位 ADC 简介及其程序设计	105
4.3.2	串行模数转换电路及其程序设计	108
4.3.3	串行数模转换电路及其程序设计	110

4.4	片外存储器扩展	114
4.4.1	片外静态 RAM 扩展电路及其程序设计	114
4.4.2	单片机 STC12C5A60S2 内部 E ² PROM 程序设计	116
4.4.3	片外串行 E ² PROM 扩展电路及程序设计	120
4.5	单片机系统与 FPGA 接口电路及其程序设计	129
4.6	单片机系统故障分析与处理	132
第 5 章	可编程逻辑器件系统的设计与制作	134
5.1	FPGA 的发展与基本概念	134
5.1.1	FPGA 发展简史	134
5.1.2	FPGA 的基础概念	136
5.1.3	FPGA 与嵌入式系统	138
5.2	FPGA 开发系统结构	140
5.2.1	基于 FPGA 开发的优势	140
5.2.2	FPGA 最小系统的核心电路	140
5.2.3	FPGA 最小系统的外围扩展电路	142
5.2.4	FPGA 调试及下载电路	142
5.3	Verilog HDL 基础	143
5.3.1	硬件描述语言概述	143
5.3.2	Verilog HDL 基本语法	143
5.3.3	组合逻辑电路的 HDL 建模	147
5.3.4	锁存器与触发器的 HDL 建模	152
5.3.5	时序逻辑电路的 HDL 建模	156
5.3.6	复杂有限状态机的 HDL 建模	158
5.4	基于 Vivado 的 FPGA 开发	160
5.4.1	Vivado 简介	160
5.4.2	使用 Vivado 构建一个最简单的“3-8 译码器”	160
5.4.3	使用 Vivado 驱动动态数码管扫描	169
5.4.4	使用 Vivado 构建复杂有限状态机	171
5.4.5	使用 Vivado 烧录 FPGA 的配置 Flash	175
第 6 章	电子设计竞赛作品设计与制作的方法和步骤	178
6.1	电子设计竞赛作品设计与制作的步骤	178
6.1.1	现代电子系统的设计方法	178
6.1.2	EDA 技术	180
6.2	电子设计竞赛作品的设计与制作方法	182
6.2.1	题目选择	182
6.2.2	题目分析	183
6.2.3	系统方案论证	184



6.2.4	电子设计竞赛作品设计与制作的全过程	185
6.2.5	子系统的设计与制作步骤	185
6.2.6	仿真模拟	188
6.2.7	PCB 绘图及制板	189
6.2.8	装配、调试与测试	190
6.2.9	电子设计竞赛总结报告写作	190
第 7 章 全国大学生电子设计竞赛综合测评		192
7.1	2011 年全国大学生电子设计竞赛综合测评 ——集成运算放大器的应用	192
7.1.1	任务与要求	192
7.1.2	LM324 集成运算放大器简介	193
7.1.3	单元电路设计	193
7.2	2013 年全国大学生电子设计竞赛综合测评 ——波形生成器	196
7.2.1	任务与要求	196
7.2.2	555 集成芯片介绍	197
7.2.3	单元电路设计	198
7.3	2015 年全国大学生电子设计竞赛综合测评 ——多种波形产生电路	201
7.3.1	任务与要求	201
7.3.2	74LS74 集成芯片介绍	202
7.3.3	单元电路设计	203
7.4	2017 年全国大学生电子设计竞赛综合测评 ——复合信号生成器	206
7.4.1	任务与要求	206
7.4.2	READ2302G 集成芯片介绍	207
7.4.3	单元电路设计	208
参考文献		211



第1章

绪论

1.1 全国大学生电子设计竞赛的目的和意义

全国大学生电子设计竞赛是由教育部高等教育司、工业和信息化部人事教育司共同主办的,面向高校本科生、专科生的一项群众性科技活动,目的在于推动普通高等学校电子信息类学科面向 21 世纪的课程体系和课程内容改革,引导高等学校在教学中培养大学生的创新意识、协作精神和理论联系实际的能力,加强学生工程实践能力的训练和培养;鼓励广大学生踊跃参加课外科技活动,把主要精力吸引到学习和能力培养上来,促进高等学校形成良好的学习风气;同时,也为优秀人才脱颖而出创造条件。

全国大学生电子设计竞赛自 1994 年至今已成功举办了 13 届,深受全国大学生的欢迎与喜爱,参赛学校、参赛队和参赛学生的数量逐年递增。对参赛学生而言,电子设计竞赛和赛前系列培训,使他们获得了电子综合设计能力,巩固了所学知识,并培养了他们用所学理论指导实践,团结一致、协同作战的综合素质;通过参加竞赛,参赛学生可以找到学习过程的不足和努力方向,为毕业后从事专业技术工作打下更好的基础,为将来就业做好准备。对指导老师而言,电子设计竞赛是新、奇、特设计思路的充分展示,更是各高校之间电子技术教学、科研水平的检验,通过参加竞赛,可以找到教学中的不足之处。对各高校而言,全国大学生电子设计竞赛现已成为高校评估不可缺少的项目之一,这种全国大赛是提高学校整体教学水平、改进教学的一种好方法。

全国大学生电子设计竞赛只在单数年份举办。然而,近年来,许多地区、省、市在双数年份也单独举办地区性或省内电子竞赛,许多学校甚至每年举办多次电子竞赛,目的在于通过这类电子大赛,让更多的学生受益。

1.2 竞赛的命题原则与要求

每逢全国大学生电子设计竞赛举办年度(单数年),全国竞赛组委会都会向参赛的赛区发布当年竞赛的“命题原则及征题要求”。各赛区组委会根据命题原则,广泛征集来自教学一线教师设计的竞赛题目。全国专家组对征集的题目进行综合加工、精心完善,最终形成多个竞赛题目。每年的“命题原则及征题要求”大同小异,但 2010 年以后变化较大,基本可以划分为两个阶段,即 2010 年以前为第一阶段,2010 年以后为第二阶段。第一阶段命题的范围以电子技术应用设计为主要内容,涉及模数混合电路、单片机、嵌入式系统、DSP、可编辑器件、EDA 软件、超高频及光学红外器件的应用。第二阶段以综合应用型为主要内容,工作频率不断提高,应用范围由二维控制改为三维控制。



第一阶段：以 2005 年的竞赛为代表。2005 年，全国大学生电子设计竞赛的命题原则及征题要求如下。

1. 命题范围

赛题以电子技术（包括模拟电路和数字电路）应用设计为主要内容，涉及模数混合电路、单片机单路、嵌入式系统、DSP、可编程器件、EDA 软件、超高频及光学红外器件的应用。题目包括“理论设计”和“实际制作与调试”两部分。竞赛题目具有实际意义和应用背景，并考虑到了目前的教学基本内容和新技术应用趋势。

2. 命题要求

竞赛题目应能测试学生运用基础知识的能力、实际设计能力和独立工作能力。题目原则上应包括基本要求部分和发挥部分，以使绝大多数参赛学生既能在规定的时间内完成基本要求部分的设计工作，又能便于优秀学生有发挥和创新的余地。命题应充分考虑到竞赛评审的操作性。

3. 题目类型

(1) 综合题，应涵盖模数混合电路。可涉及单片机和可编程逻辑器件的应用，并尽可能适合不同类型学校和专业的学生选用。

(2) 侧重于某专业（如电子信息、计算机、通信、自动控制、电子技术应用等）的题目。

(3) 侧重于模拟电路、数字电路、电力电子技术等课程内容的题目。

(4) 侧重于新型集成电路应用的题目。

(5) 侧重于常用电子产品和电子仪器初步设计的题目。

4. 命题格式

(1) 题目名称：要求简明扼要。

(2) 设计任务和要求：需对题目进行必要的说明，明确提出设计任务和对功能指标的要求，文字描述准确，避免含糊不清。

(3) 评分标准：按设计报告、实际制作两部分提出具体评分细则。

(4) 命题意图与知识范围：命题人应对命题的意图、涉及的主要知识范围及其他问题予以必要的说明，供全国专家组选题时参考。

根据上述“命题原则及征题要求”，2005 年竞赛最后出了 7 道试题：

A 题：正弦信号生成器设计（频率范围为 100kHz~10MHz）。

B 题：集成运算放大器参数测量仪设计。

C 题：简易频谱分析仪设计（频率范围为 1~30MHz）。

D 题：单工无线呼叫系统设计（频率范围为 30~40MHz）。

E 题：悬挂运动控制系统设计。

F 题：数控恒流源设计。

G 题：三相正弦变频电源设计。

题目特点：以电子技术应用设计为主要内容，但频率偏低，无三维控制题型。



第二阶段：张晓林教授接任全国专家组组长后，提出了频率要提高、二维控制改为三维控制、其他试题难度要加大、实用性要增强的设想。经过几年努力，在通信类、高频类题型中，频率从几十 MHz→100MHz→200MHz→300MHz→光波，不断提高；自动控制类题型已由二维控制改为三维控制。

2015 年的竞赛试题完全可以说明这一点。2015 年本科生的 7 道竞赛试题如下：

A 题：双向 DC-DC 变换器设计。

B 题：风力摆控制系统（三维自动控制系统）设计。

C 题：多旋翼自主飞行器（三维飞行器）设计。

D 题：增益可控射频宽带放大器设计（频率范围为 40~200MHz）。

E 题：80~100MHz 频谱分析仪设计（频率范围为 90~110MHz）。

F 题：数字频率计设计（频率范围为 1~100MHz）。

G 题：短距视频信号无线通信网络设计（频率范围为电视频道任选）。

题目特点：高频、通信类题目增多，频率提高。自控类题目已由二维控制改为三维控制。

1.3 竞赛题涉及的知识面与知识点

历届竞赛题涵盖的知识面和知识点范围极广，很难列全，因此本书仅列出涉及的主要知识面和知识点。不管竞赛题属于哪一类，有些知识面和知识点是通用的，称之为基础知识面和基本知识点，而不同类型的竞赛题还有自己特有的知识面和知识点。

基础知识面主要包括：电路分析基础、模拟电子技术基础、数字电子技术基础、微机原理、单片机及其应用、可编程逻辑器件原理及应用、EDA 技术及其应用、电子系统设计、C 语言、汇编语言和 VHDL 语言。

对于不同类型的题目，还会涉及一些特有的知识。

(1) 模电（模拟电子技术）类：模拟集成电路原理与应用、电力电子技术。

(2) 高频（高频电子线路）类：高频电子线路、通信原理、无线电发射与接收设备、电磁场与微波技术、天线原理。

(3) 仪器仪表类：电子测量与仪器、模拟集成电路原理与应用、高频电子线路、基于 FPGA 的嵌入式系统、现代信号处理。

(4) 数电与自控类：数字电子技术、自动控制原理、传感器原理及其应用、现代信号处理、电机原理。

竞赛题涉及的知识点不胜枚举。每种类型均有自己的主要知识点，读者可以举一反三。以高频电子线路为例，主要知识点可用“三器、三控、三技、两机”来概括。

所谓“三器”，是指放大器（小信号高频放大器、功率放大器）、振荡器（正弦振荡器）、调制与解调器（含 AM、FM、PM 和数字信号调制与解调）。

所谓“三控”，是指自动增益控制（AGC）、自动频率控制（AFC）和自动相位控制（APC）。

所谓“三技”，是指频率合成技术（含模拟与数字频率合成技术）、功率合成技术和宽带技术。

所谓“两机”，是指发射机和接收机。

上述知识点均是高频类题型的主要考点。



1.4 出题趋势

2017 年是全国大学生电子设计竞赛组委会改选年,更换了组委会班子、专家组成员、主办单位及赞助商。新班子成立后,出题的形式和内容均有较大的变化。

第一个特点是,总体趋势向综合型、实用型方向发展。2017 年全国大学生电子设计竞赛本科组的 8 道题中,其中有 6 道题属于综合型和实用型题,占总题数的 75%。例如,微电网模拟系统(A 题)、滚球控制系统(B 题)、四旋翼自主飞行器探测跟踪系统(C 题)、可见光室内定位系统(I 题)、远程幅频特性测试仪(H 题)、单相用电器分析监测装置(K 题)等试题就体现了这一特点。这是 2017 年试题最突出的特点,也是今后出题的总体趋势。

第二个特点是,高频、通信类的内容渗透到了各题中。例如,A 题、B 题、C 题、F 题、I 题、H 题、K 题与高职高专组的 L 题均涉及高频通信类的内容。WiFi+局域网通信也首次出现在试题中,今后 WiFi+ 会多次进入试题中。

第三个特点是,自动控制类题已全部进入三维控制范围。例如,B 题、C 题、M 题、L 题均是三维自控题型。

预测智能小车、无人机一类题目今后还会出现,而且会由室内走向室外,定位会采用 GPS、北斗定位系统,而模式识别技术向实用型方向发展。

竞赛题要与时俱进。手机的结构主要由两大部分组成:一是数据处理部分,包含数据采集、高速 A/D 变换、信道编码、速率匹配、加扰、数据压缩、编码和存储,以及上述过程的逆过程;二是收发系统,包括数据调制、解调、频谱搬移、收发天线、收发隔离等。因此,应借助全国大学生电子设计竞赛这一平台,攻克这些难关。这类题型可以作为公开题,让学生、辅导老师有更多的时间去研究。

手机目前使用的频率范围为 800MHz 至几 GHz,属于分米波、厘米波范畴。2013 年高频通信类题的频率范围已由几十 MHz 提高到约 100MHz,2015 年提高到约 200MHz,2017 年提高到 300MHz。按照每两年提高 100MHz 这样的速率来提高频率,要等多长时间才能达到手机使用的频率范围呢?

全国专家组组长张晓林在 2013 年的昆明会议上提出频率要提高、二维改三维的设想后,2013 年就出了一道“四旋翼自主飞行器”的试题,当年就有人反对。实践证明,经过几年的努力,这培训了一大批无人机设计方面的人才。目前,我国无人机“满天飞”,进入了无人机世界先进行列,这就是对国家的贡献。2018 年,西安电子科技大学教授傅丰林在郑州会议上提出,电子竞赛要出频率超过 800MHz 的手机通信方面的试题,这又是一次大改革,应大力支持与投入。

第②章

电子设计竞赛制作基础训练

内容提要

本章介绍电子设计制作必备的基础知识,内容包括电子元器件的分类、型号、识别、主要性能、使用注意事项,装配工具及使用方法,焊接材料、焊接工艺和焊接方法,印制电路板的设计与制作方法。

2.1 常用电子电路元器件的识别与主要性能参数

任何电子电路都是由元器件组成的,而常用的元器件有电阻器、电容器、电感器和各种半导体器件(如二极管、三极管、集成电路等)。要能正确地选择和使用这些元器件,就必须掌握它们的性能、结构及主要参数等有关知识。

2.1.1 电阻器的简单识别与型号命名法

1. 电阻器分类

电阻器是电路元器件中应用最广泛的一种,在电子设备中约占元器件总数的30%以上,其质量的好坏对电路的稳定性影响极大。电阻器的主要用途是稳定和调节电路中的电流与电压,还可作为分流器、分压器和消耗电能的负载等。

电阻器按结构可分为固定式和可变式两大类。

固定式电阻器一般称为“电阻”。由于制作材料和工艺的不同,固定式电阻器可分为膜式电阻、实芯电阻、金属线绕电阻(RX)和特殊电阻四种类型。膜式电阻包括碳膜电阻(RT)、金属膜电阻(RJ)、合成膜电阻(RH)和氧化膜电阻(RY)等。实芯电阻包括有机实芯电阻(RS)和无机实芯电阻(RN)。特殊电阻包括MG型光敏电阻和MF型热敏电阻。

可变式电阻器分为滑线式变阻器和电位器,其中应用最广泛的是电位器。

电位器是一种具有三个接头的可变电阻器,其阻值在一定范围内能连续可调。电位器按电阻体的材料可分为薄膜电位器和线绕电位器两种。薄膜电位器又可分为WTX型小型碳膜电位器、WTH型合成碳膜电位器、WS型有机实芯电位器、WHJ型精密合成膜电位器和WHD型多圈合成膜电位器等。线绕电位器的代号为WX。一般来说,线绕电位器的误差不大于 $\pm 10\%$,非线绕电位器的误差不大于 $\pm 2\%$,其阻值、误差和型号均标在电



位器上。

按调节机构的运动方式分类，可分为旋转式电位器和直滑式电位器。

按结构分类，可分为单联电位器、多联电位器、带开关电位器、不带开关电位器等；按开关形式又可分为旋转式电位器、推拉式电位器、按键式电位器等。

按用途分类，可分为普通电位器、精密电位器、功率电位器、微调电位器和专用电位器等。

按阻值随转角变化的关系曲线分类，电位器又可分为线性电位器和非线性电位器，如图 2.1.1 所示，它们特点如下。

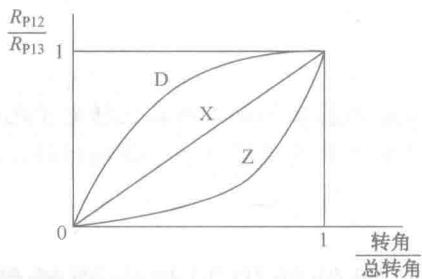


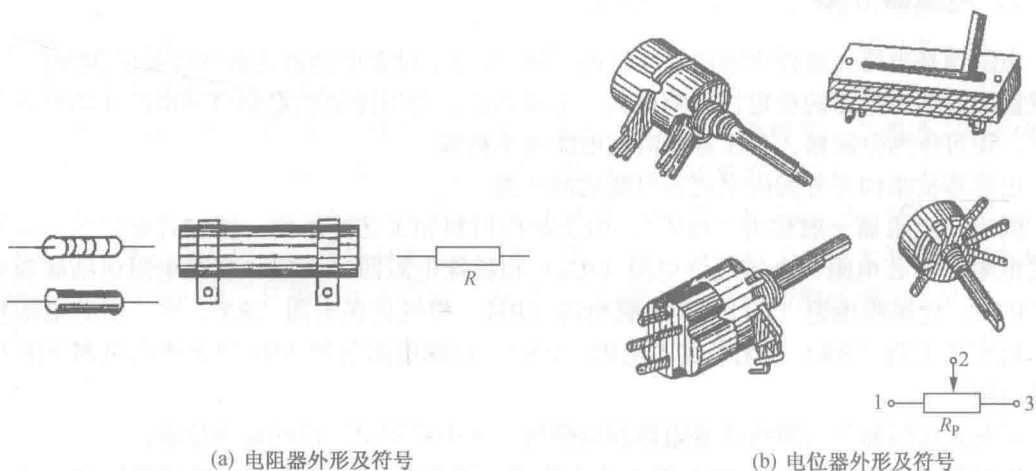
图 2.1.1 阻值随转角变化的关系曲线

X 式（直线式）：如用于示波器的聚焦电位器和用于万用表（如 MF-20 型万用表）的调零电位器，其线性精度为 $\pm 2\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 0.3\%$ 、 $\pm 0.05\%$ 。

D 式（对数式）：如用于电视机的黑白对比度调节电位器，其特点是先粗调后细调。

Z 式（指数式）：如用于收音机的音量调节电位器，其特点是先细调后粗调。

注意，字母 X、D、Z 一般印在电位器上。常用电阻器和电位器的外形与符号如图 2.1.2 所示。



(a) 电阻器外形及符号

(b) 电位器外形及符号

图 2.1.2 常用电阻器和电位器的外形与符号

2. 电阻器的型号命名

电阻器的型号命名详见表 2.1.1。

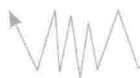
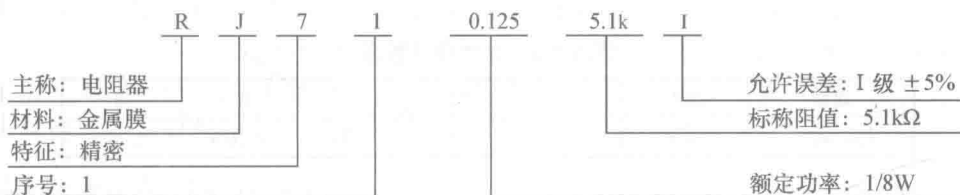


表 2.1.1 电阻器的型号命名

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分
用字母表示主称		用字母表示材料		用数字和字母表示特征		用数字表示序号
符号	意义	符号	意义	符号	意义	意义
R RP	电阻器 电位器	T	碳膜	1, 2	普通	包括额定功率、 阻值、允许误差、 精度等级
		P	硼碳膜	3	超高频	
		U	硅碳膜	4	高阻	
		C	沉积膜	5	高温	
		H	合成膜	7	精密	
		I	玻璃釉膜	8	电阻器——高压	
		J	金属膜(箔)		电位器——特殊函数	
		Y	氧化膜	9	特殊	
		S	有机实芯	G	高功率	
		N	无机实芯	T	可调	
		X	线绕	X	小型	
		R	热敏	L	测量用	
		G	光敏	W	微调	
		M	压敏	D	多圈	

例如, RJ71-0.125-5.1kI 电阻器的含义如下所示:



由此可见, 这些精密金属膜电阻器的额定功率为 1/8W, 标称电阻值为 5.1k Ω , 允许误差为 $\pm 5\%$ 。

3. 电阻器的主要性能指标

1) 额定功率

电阻器的额定功率是指在规定的环境温度和湿度下, 假定周围空气不流通, 在长期连续负载而不损坏或基本不改变性能的情况下, 电阻器上允许消耗的最大功率。当超过额定功率时, 电阻器的阻值将发生变化, 甚至发热烧毁。为保证安全使用, 电阻器的额定功率一般要选择为比其在电路中消耗的功率高 1~2 倍。

额定功率分为 19 个等级, 常用的有 $\frac{1}{20}$ W, $\frac{1}{8}$ W, $\frac{1}{4}$ W, $\frac{1}{2}$ W, 1W, 2W, 4W, 5W, ...。在电路图中, 非线绕电阻器额定功率的符号表示法如图 2.1.3 所示。

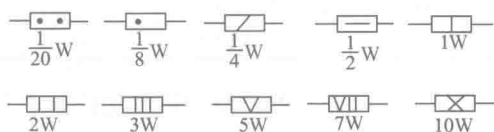


图 2.1.3 非线绕电阻器额定功率的符号表示法



实际中应用得较多的有 $\frac{1}{8}W, \frac{1}{4}W, \frac{1}{2}W, 1W, 2W$ 。线绕电位器应用得较多的有 $2W, 3W, 5W, 10W$ 等。

2) 标称阻值

标称阻值是产品标记的“名义”阻值，其单位为欧 (Ω)、千欧 ($k\Omega$)、兆欧 ($M\Omega$)。标称阻值系列见表 2.1.2。

任何固定电阻器的阻值，都符合表 2.1.2 中所列的数值乘以 $10^n\Omega$ ，其中 n 为整数。

表 2.1.2 标称阻值系列

允许误差	系列代号	标称阻值系列
±5%	E24	1.0 1.1 1.2 1.3 1.5 1.6 1.8 2.0 2.2 2.4 2.7
		3.0 3.3 3.6 3.9 4.3 4.7 5.1 5.6 6.2 6.8 7.5 8.2 9.1
±10%	E12	1.0 1.2 1.5 1.8 2.2 2.7 3.3 3.9 4.7 5.6 6.8 8.2
±20%	E6	1.0 1.5 2.2 3.3 4.7 6.8

3) 允许误差

允许误差是指电阻器和电位器的实际阻值对于标称阻值的最大允许偏差范围，它表示产品的精度。允许误差等级见表 2.1.3。线绕电位器的允许误差一般小于 $\pm 10\%$ ，非线绕电位器的允许误差一般小于 $\pm 20\%$ 。

表 2.1.3 允许误差等级

级别	005	01	02	I	II	III
允许误差	±0.5%	±1%	±2%	±5%	±10%	±20%

电阻器的阻值和误差一般都用数字标印在电阻器上，但体积很小。有些合成电阻器的阻值和误差常用色环来标记，如图 2.1.4 所示，即在靠近电阻器的一端画上四道或五道（精密电阻）色环，其中第一道色环、第二道色环及精密电阻的第三道色环都表示相应位数的数字，再后的一道色环则表示前面的数字再乘以 10^n ，最后一道色环表示阻值的允许误差。色环颜色的意义见表 2.1.4。

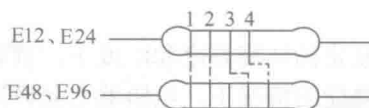


图 2.1.4 阻值和误差的色环标记

表 2.1.4 色环颜色的意义

颜色数值	黑	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	金	银	本色
代表数值	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
允许误差	F (±1%)	G (±2%)				D (±0.5%)	C (±0.25%)	B (±0.1%)			J (±5%)	K (±10%)	±20%

例如，四色环电阻器的第一道、第二道、第三道、第四道色环分别为棕色、绿色、红色、金色，因此该电阻的阻值和误差如下：