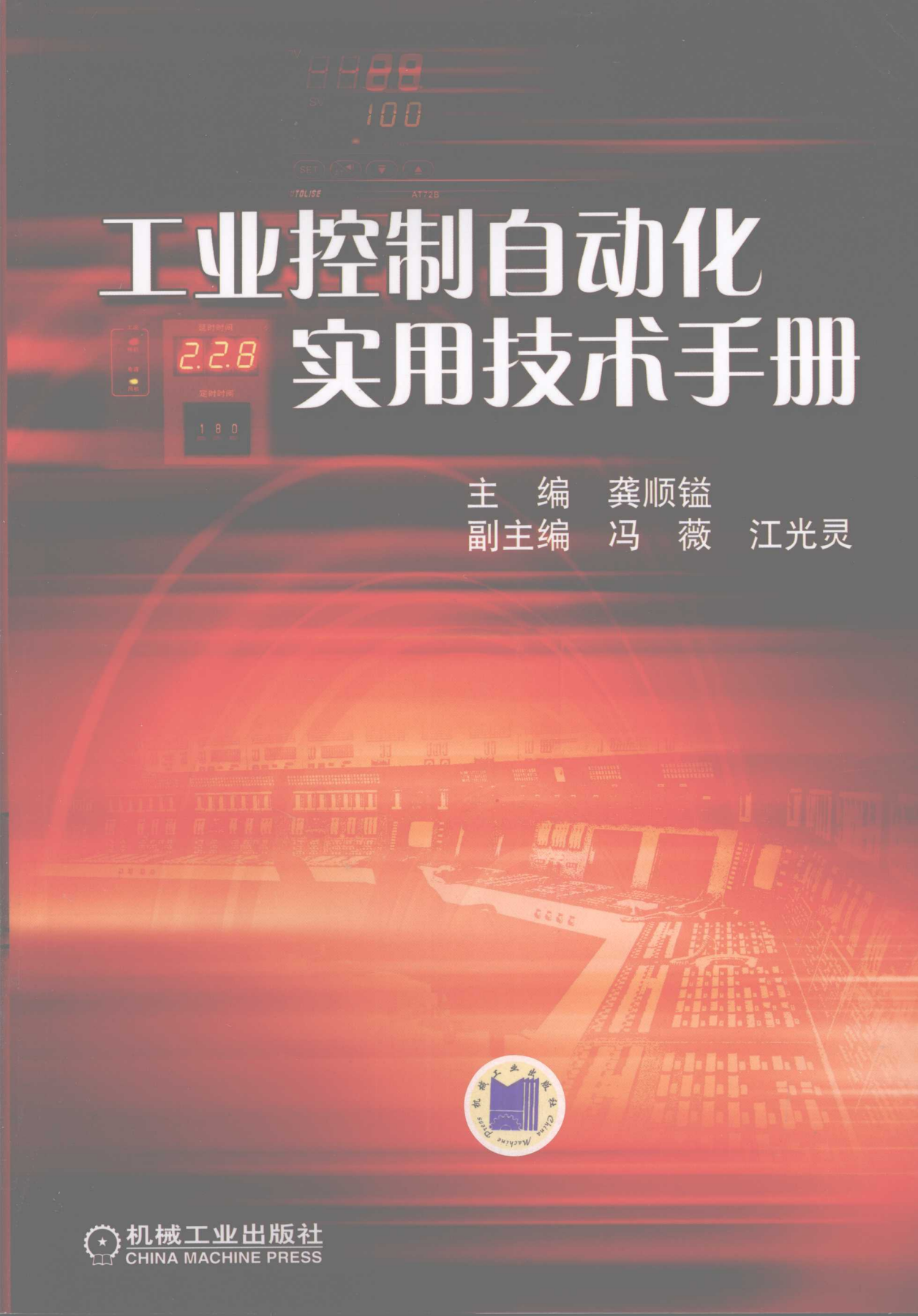




# 工业控制自动化 实用技术手册

主 编 龚顺镒  
副主编 冯 薇 江光灵



# 工业控制自动化实用 技术手册

主 编 龚顺镒  
副主编 冯 薇 江光灵  
参 编 陈芳芳 栗云江 冯遵安 郭 燕  
主 审 龚天兵



机械工业出版社

本手册主要包括：常用电子元器件及其应用、模拟电子技术、数字电子技术、电力电子技术、电子测量仪器、传感器、变频技术、可编程控制器的原理及应用、现场总线技术和稳压电源及其应用。

本手册主要适用于工矿企业、科研院所的电气自动化及相关专业的工程技术和设计人员进行技术改造和设计时使用；同时对提高技术人员的技术水平，使其适应新的工作环境也有较大的帮助。另外，本手册也可供相关专业高等院校师生参考查阅。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

工业控制自动化实用技术手册/龚顺锰主编. —北京：机械工业出版社，2008. 8

ISBN 978-7-111-24703-6

I. 工… II. 龚… III. 生产过程-自动控制系统-技术手册  
IV. TP278-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 108484 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑：吉 玲 责任编辑：林 桢 版式设计：霍永明

责任校对：张晓蓉 封面设计：姚 毅 责任印制：杨 曦

三河市宏达印刷有限公司印刷

2009 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·51.25 印张·1 插页·1338 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-24703-6

定价：98.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

销售服务热线电话：(010) 68326294

购书热线电话：(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话：(010) 88379768

封面无防伪标均为盗版

# 前言

在国民经济各个部门及生活领域,工业电子与现代控制技术的应用已普及、深入,成为实现现代化先进科学技术的极其重要的一个组成部分。为了适应新的工作需要,我们编写了本手册,供广大从事电气自动化专业的技术人员参考。本手册内容丰富、简明实用、查阅方便。

手册的内容包括:电子技术和现代控制技术所需的常用元器件、设备、装置的基本结构、原理、型号、特性、性能指标以及有关的计算公式、标准、用途、安装和维护方法等。本手册可作为在工矿企业、科研设计单位、高新技术公司中从事电气自动化工程的技术人员及相关专业人员的必备工具书。

手册的特点:

(1) 系统地汇编了电子技术和工业控制技术需要的元器件、设备的基本理论及常用的技术资料,还列有理论与实践相结合的应用实例。

(2) 内容简明、实用、新颖、通俗易懂,尽量做到图表化、数据化、条文化以便查阅,避免了理论性的长篇叙述和复杂的公式推导,提供了直接运用的结论。

(3) 手册中所用的技术标准,采用了最新的国家标准、部颁标准和法定计量单位,内容比较全面,数据准确可靠,有较强的直观性。

(4) 充分反映了电气自动化专业的新技术、新工艺、新器件、新设备,扩大了知识面,使手册更具有实用性。

本手册由龚天兵主审。第一、二章由龚顺镒编写;第三、五章由陈芳芳编写;第四、八章由冯微编写;第六章由郭燕编写;第七章由冯遵安编写;第九章由江光灵编写;第十章由栗云江编写;全书由龚顺镒统稿。编者对机械工业出版社的所有相关编辑和领导的支持、帮助、指导表示衷心的感谢。

本手册涉及内容较多,而新技术在不断发展,新器件层出不穷,应用不断推陈出新,限于编者的水平和实践经验,难免有不妥和疏漏之处,欢迎读者批评指正。

编者

# 目 录

## 前言

## 第一章 常用电子元器件及其应用 ..... 1

### 第一节 电路元件的种类、特性及应用 ..... 1

一、电路理想元件的特性 ..... 1

二、电阻器的种类、识别与选用 ..... 1

三、电容器的结构与选用 ..... 23

四、电感元件的种类和选用 ..... 36

### 第二节 常用半导体器件的特性与应用 ..... 38

一、国产半导体分立元件型号命名方法 ..... 38

二、二极管的特性与应用 ..... 38

三、晶体管的特性与应用 ..... 53

四、场效应晶体管的特性与应用 ..... 75

五、常用半导体光电器件 ..... 80

### 第三节 集成电路的结构与应用 ..... 85

一、集成电路 ..... 85

二、半导体集成电路的分类 ..... 86

三、集成运算放大器的符号及工作方式 ..... 86

四、国产半导体集成电路型号命名法 ..... 87

## 第二章 模拟电子技术及其应用 ..... 89

### 第一节 模拟电子技术的应用、特点及主要电路形式 ..... 89

### 第二节 二极管整流、滤波电路及技术指标 ..... 89

一、整流直流电源的组成与分析 ..... 89

二、单相整流、滤波电路的性能指标 ..... 93

### 第三节 晶体管（音频）放大电路 ..... 93

一、放大电路的分类和主要用途 ..... 93

二、基本放大器的组成与性能指标 ..... 94

三、场效应晶体管放大电路 ..... 96

四、放大电路的分析和计算方法 ..... 98

五、组合放大电路 ..... 101

### 第四节 集成运算放大器 ..... 113

一、集成运算放大器的典型电路及主要参数 ..... 113

二、部分集成运放的主要性能指标及引脚排列图 ..... 119

### 第五节 负反馈放大电路与正弦波振荡电路 ..... 134

一、反馈的基本概念与分类 ..... 134

二、负反馈放大电路的基本方程式 ..... 135

三、负反馈对放大电路性能的改善 ..... 137

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| 四、负反馈放大电路的分析计算方法             | 138        |
| 五、正弦波振荡器                     | 139        |
| 六、实例: RC 文氏电桥振荡器的设计          | 142        |
| 第六节 集成运放的应用                  | 146        |
| 一、集成运放的应用基础                  | 146        |
| 二、集成运放在信号运算方面的应用             | 147        |
| 三、集成运放在信号检测与处理方面的应用          | 152        |
| 四、集成运放的非线性应用——电压比较器和非正弦波形发生器 | 159        |
| 第七节 运放应用中的一些实际问题             | 166        |
| 一、异常现象和集成运放的保护               | 166        |
| 二、集成运放的单电源应用                 | 168        |
| 第八节 常用集成运算放大器国内外型号           | 168        |
| 第九节 集成功放的应用                  | 170        |
| 一、利用集成运放组成的功放电路              | 171        |
| 二、功率集成电路                     | 171        |
| 第十节 集成稳压器件                   | 174        |
| 一、集成稳压器的分类                   | 174        |
| 二、集成稳压器的主要性能参数               | 174        |
| 三、三端集成稳压器                    | 176        |
| 四、国内外常用集成稳压器对照表              | 179        |
| 五、集成稳压器使用注意事项                | 180        |
| 六、三端集成稳压器的应用电路举例             | 180        |
| <b>第三章 数字电子技术及其应用</b>        | <b>183</b> |
| 第一节 脉冲数字电路的应用、特点及主要电路形式      | 183        |
| 一、脉冲信号                       | 183        |
| 二、数字信号                       | 183        |
| 三、数字电路的主要特点                  | 183        |
| 四、主要电路形式                     | 184        |
| 第二节 逻辑门电路                    | 184        |
| 一、逻辑代数的运算                    | 184        |
| 二、门电路                        | 186        |
| 第三节 逻辑函数表达方法与化简              | 205        |
| 一、逻辑函数表达方法                   | 205        |
| 二、逻辑函数的化简                    | 205        |
| 第四节 组合逻辑电路                   | 207        |
| 一、组合逻辑电路的分析与设计               | 207        |
| 二、加法器                        | 207        |
| 三、编码器、译码器、数据选择器              | 209        |
| 第五节 时序逻辑电路                   | 211        |
| 一、概述                         | 211        |
| 二、集成触发器                      | 213        |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 三、计数器                        | 217 |
| 四、寄存器                        | 220 |
| 五、存储器                        | 225 |
| 第六节 集成门在脉冲电路中的应用             | 228 |
| 一、多谐振荡器                      | 228 |
| 二、单稳态触发器                     | 228 |
| 三、施密特触发器与单稳态触发器              | 230 |
| 四、集成 555 定时器                 | 231 |
| 第七节 集成 D/A、A/D 转换器及其应用参数     | 232 |
| 一、集成 D/A、A/D 转换器的基本原理        | 232 |
| 二、部分集成 D/A、A/D 转换器的性能指标      | 233 |
| 第八节 可编程逻辑器件                  | 234 |
| 一、PLD 分类                     | 234 |
| 二、可编程逻辑基础                    | 235 |
| 三、简单可编程逻辑器件                  | 236 |
| 四、复杂可编程逻辑器件                  | 238 |
| 五、PLD 的应用                    | 241 |
| 第九节 国内外常用 TTL 和 CMOS 集成电路对照表 | 245 |
| 一、CMOS 集成电路的技术数据             | 245 |
| 二、国内外常用 TTL 集成电路对照表          | 245 |
| 三、国内外常用 CMOS 集成电路对照表         | 245 |
| <b>第四章 电力电子技术</b>            | 261 |
| 第一节 电力电子技术的分类与应用             | 261 |
| 一、电力电子技术按功能的分类               | 261 |
| 二、电力电子技术的应用领域                | 261 |
| 第二节 电力电子器件                   | 262 |
| 一、电力电子器件的分类                  | 262 |
| 二、基本的电力电子器件特性                | 262 |
| 三、不控型器件                      | 265 |
| 四、半控型器件                      | 267 |
| 五、全控型器件                      | 273 |
| 第三节 电力电子变流电路                 | 282 |
| 一、相控整流电路                     | 282 |
| 二、逆变电路                       | 290 |
| 三、直流斩波电路                     | 300 |
| 四、交流调压电路                     | 302 |
| 第四节 驱动与保护                    | 310 |
| 一、驱动电路                       | 310 |
| 二、保护电路                       | 319 |
| 第五节 电力电子技术在直流拖动系统中的应用        | 326 |
| 一、不可逆直流拖动系统                  | 326 |

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 二、可逆直流拖动系统         | 328 |
| 三、直流调速用变流器         | 334 |
| 四、应用实例             | 334 |
| <b>第五章 电子测量仪器</b>  | 336 |
| 第一节 电子示波器          | 336 |
| 一、分类               | 336 |
| 二、示波器的组成           | 337 |
| 三、示波器的波形显示原理       | 338 |
| 四、示波器的使用           | 339 |
| 五、主要技术性能指标         | 346 |
| 六、示波器的选择和使用注意事项    | 354 |
| 第二节 QT—2 型晶体管特性图示仪 | 355 |
| 一、图示仪的组成           | 356 |
| 二、图示仪面板上各部件的功能     | 357 |
| 三、QT—2 型图示仪性能指标    | 359 |
| 四、使用注意事项           | 360 |
| 第三节 低频信号发生器        | 361 |
| 一、信号发生器的分类         | 361 |
| 二、低频信号发生器          | 361 |
| 三、低频信号发生器的使用       | 363 |
| 四、主要技术指标           | 364 |
| 五、其他低频信号发生器性能指标    | 365 |
| 六、使用注意事项           | 366 |
| 第四节 晶体管毫伏计         | 367 |
| 一、毫伏表的分类           | 367 |
| 二、毫伏表的特点           | 368 |
| 三、晶体管毫伏表           | 368 |
| 第五节 数字万用表          | 371 |
| 一、特点               | 372 |
| 二、基本构成             | 372 |
| 三、分类及常见数字万用表       | 372 |
| 四、面板介绍及使用方法        | 377 |
| 五、注意事项             | 379 |
| 六、常用型号的主要功能和技术参数   | 380 |
| <b>第六章 传感器及其应用</b> | 382 |
| 第一节 传感器概述          | 382 |
| 一、传感器的定义           | 382 |
| 二、传感器的组成           | 382 |
| 三、传感器的分类           | 383 |
| 第二节 传感器的转换原理       | 384 |
| 第三节 传感器的选择与标定      | 386 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 一、传感器的选择                  | 386 |
| 二、传感器的标定                  | 387 |
| 第四节 常用传感器                 | 389 |
| 一、位移测量型传感器                | 389 |
| 二、压力传感器                   | 397 |
| 三、流量传感器                   | 411 |
| 四、温度传感器                   | 424 |
| 五、振动测量与声波传感器              | 436 |
| 六、环境型传感器                  | 439 |
| 第五节 常用传感器的应用              | 444 |
| 一、传感器在汽车中的应用              | 444 |
| 二、传感器在自动生产线中的应用——机器人传感器   | 446 |
| <b>第七章 变频技术及其应用</b>       | 453 |
| 第一节 变频(器)的基本构成及分类         | 453 |
| 一、变频器的基本构成                | 453 |
| 二、变频器的分类及特点               | 453 |
| 第二节 晶闸管中频电源               | 459 |
| 一、中频电源的主回路                | 459 |
| 二、并联型晶闸管中频电源              | 460 |
| 三、KGPS—100/1.0 型晶闸管中频电源电路 | 460 |
| 第三节 变频调速中的变频器             | 463 |
| 一、变频调速的原理                 | 463 |
| 二、变频器的内部结构和主要功能           | 465 |
| 三、变频器的外部控制电路              | 471 |
| 第四节 高性能通用变频器和高压变频器        | 475 |
| 一、高性能通用变频器                | 475 |
| 二、高压变频器                   | 482 |
| 第五节 部分变频器的技术指标            | 487 |
| 一、西门子通用变频器                | 487 |
| 二、ABB 通用变频器               | 489 |
| 三、Vacon 系列通用变频器           | 492 |
| 四、三菱通用变频器                 | 493 |
| 五、佳灵变频器                   | 495 |
| 六、森兰变频器                   | 496 |
| 第六节 通用变频器的应用              | 498 |
| 一、通用变频器外部接口电路             | 498 |
| 二、通用变频器的选择                | 501 |
| 三、变频器的控制系统                | 502 |
| 四、通用变频器的应用实例              | 512 |
| <b>第八章 可编程序控制器及其应用</b>    | 517 |
| 第一节 可编程序控制器特点与类型          | 517 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 一、PLC 的特点 .....                 | 517 |
| 二、PLC 的类型 .....                 | 519 |
| 第二节 PLC 的结构及工作原理 .....          | 520 |
| 一、PLC 的组成及各组成部分的作用 .....        | 520 |
| 二、PLC 的工作原理 .....               | 522 |
| 第三节 常用 PLC 产品性能介绍 .....         | 525 |
| 一、PLC 主要性能指标 .....              | 525 |
| 二、三菱电机公司 FX 系列 PLC .....        | 525 |
| 三、其他产品性能简介 .....                | 530 |
| 第四节 PLC 的编程语言与编程方法 .....        | 542 |
| 一、编程语言的种类 .....                 | 542 |
| 二、梯形图、语句表编程语言 .....             | 543 |
| 三、三菱 FX2N 系列编程元件 .....          | 546 |
| 四、三菱 FX2N 系列 PLC 的指令系统 .....    | 548 |
| 五、梯形图编程方法 .....                 | 555 |
| 第五节 PLC 的系统设计、调试、安装与维护 .....    | 562 |
| 一、PLC 应用系统设计和安装调试 .....         | 562 |
| 二、PLC 的安装 .....                 | 566 |
| 三、PLC 的维护 .....                 | 570 |
| 第六节 PLC 的应用举例 .....             | 575 |
| 一、电动机星-三角减压起动的 PLC 控制 .....     | 575 |
| 二、变频器的 PLC 控制 .....             | 575 |
| 三、中央空调温度的 PLC 控制 .....          | 577 |
| 第七节 自带编程器的小型可编程序控制器 LOGO! ..... | 579 |
| 一、特点和应用 .....                   | 580 |
| 二、类型与配置 .....                   | 580 |
| 三、结构和工作状态 .....                 | 580 |
| 四、编程简介 .....                    | 582 |
| 五、应用举例 .....                    | 583 |
| <b>第九章 现场总线技术及应用</b> .....      | 587 |
| 第一节 计算机网络基础 .....               | 587 |
| 一、总线的基本概念与操作 .....              | 587 |
| 二、通信系统简介 .....                  | 590 |
| 三、计算机网络及其拓扑结构 .....             | 599 |
| 四、网络的传输介质 .....                 | 600 |
| 五、介质访问控制方式 .....                | 603 |
| 六、数据交换 .....                    | 606 |
| 七、差错控制 .....                    | 610 |
| 八、网络互联 .....                    | 612 |
| 第二节 开放系统互连参考模型 .....            | 614 |
| 一、OSI 参考模型的结构 .....             | 615 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 二、OSI 参考模型的功能划分 .....           | 615 |
| 三、OSI 参考模型与现场总线通信模型 .....       | 616 |
| 四、一致性与互操作性测试技术 .....            | 619 |
| 第三节 基金会现场总线 .....               | 621 |
| 一、基金会现场总线系统的技术概要 .....          | 622 |
| 二、基金会现场总线的物理层及其网络连接 .....       | 631 |
| 第四节 控制器局域网总线 .....              | 637 |
| 一、CAN 的性能特点 .....               | 637 |
| 二、CAN 的技术规范 .....               | 638 |
| 第五节 HART 通信协议 .....             | 652 |
| 一、HART 的基本特点 .....              | 652 |
| 二、HART 通信协议物理层技术规范 .....        | 654 |
| 三、HART 数据链路层协议规范 .....          | 666 |
| 第六节 LonWorks 技术和 LON 总线 .....   | 680 |
| 一、LonWorks 技术概述及系统结构 .....      | 680 |
| 二、LON 总线分散式通信控制处理器——神经元芯片 ..... | 683 |
| 三、通信 .....                      | 689 |
| 四、LonWorks 通信协议—LonTalk .....   | 694 |
| 第七节 PROFIBUS .....              | 696 |
| 一、概述 .....                      | 696 |
| 二、PROFIBUS 基本特性 .....           | 697 |
| 三、PROFIBUS-DP .....             | 702 |
| 四、PROFIBUS-PA .....             | 707 |
| 五、PROFIBUS-FMS .....            | 709 |
| 第八节 CAN 总线在多电动机软起动系统中的应用 .....  | 711 |
| 一、CAN 通信系统结构 .....              | 711 |
| 二、CAN 通信协议 .....                | 712 |
| 三、软起动器 CAN 通信硬件设计 .....         | 712 |
| 四、软起动器 CAN 通信程序设计 .....         | 714 |
| 第十章 电源 .....                    | 716 |
| 第一节 线性直流稳压电源 .....              | 716 |
| 一、简单的稳压电路 .....                 | 716 |
| 二、线性串联型稳压电路 .....               | 717 |
| 三、线性集成稳压电源 .....                | 723 |
| 四、低压差微功耗三端稳压器 .....             | 725 |
| 五、低压差高效稳压器 .....                | 726 |
| 六、大电流线性稳压器 .....                | 727 |
| 七、对旧式整流电源的改进 .....              | 727 |
| 八、简易型电话机功能检测电源 .....            | 729 |
| 第二节 可调直流稳压电源 .....              | 729 |
| 一、三端可调集成稳压器 .....               | 729 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 二、可调直流稳压电源 .....             | 731 |
| 三、自制可调稳压电源 .....             | 731 |
| 四、步进式可调直流稳压电源 .....          | 732 |
| 五、无触点可逆换挡稳压电源 .....          | 734 |
| 六、多用途电源 .....                | 735 |
| 第三节 开关电源 .....               | 737 |
| 一、开关型稳压电源的类型及工作原理 .....      | 737 |
| 二、开关型集成稳压器 .....             | 739 |
| 三、常用开关电源模块的应用 .....          | 747 |
| 第四节 高压电源 .....               | 756 |
| 一、0 ~ 20kV 高压稳压电源 .....      | 756 |
| 二、3 ~ 2000V 可调直流稳压电源 .....   | 757 |
| 三、用 LM338 实现的高压大电流稳压电源 ..... | 758 |
| 四、超高压模块 .....                | 758 |
| 第五节 逆变电源 .....               | 759 |
| 一、逆变技术的概念和分类 .....           | 759 |
| 二、逆变电路不间断电源分析 .....          | 760 |
| 三、适用于 UPS 和逆变电路中的功率晶闸管 ..... | 762 |
| 四、逆变电源制作 .....               | 773 |
| 第六节 交流稳压电源 .....             | 779 |
| 一、交流稳压电源的类型 .....            | 779 |
| 二、常用交流稳压电源工作原理 .....         | 782 |
| 三、产品实例 .....                 | 790 |
| 第七节 电力稳压电源 .....             | 799 |
| 一、自动补偿式电力稳压器原理及产品 .....      | 800 |
| 二、微机无触点补偿式电力稳压器原理及产品 .....   | 803 |
| 参考文献 .....                   | 806 |

# 第一章 常用电子元器件及其应用

## 第一节 电路元件的种类、特性及应用

### 一、电路理想元件的特性

纯电阻元件、纯电感元件及纯电容元件（ $R$ 、 $L$ 、 $C$ ）是电路中最基本的理想元件，其电路特性如表 1-1 所示。

表 1-1 电路理想元件的电路特性

| 电路理想<br>元件   | 元件的伏安特性                                         |                                                      | 元件吸收的电能                                                                                                       | 说 明                                                      |
|--------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|              | 交流                                              | 直流                                                   |                                                                                                               |                                                          |
| 纯电阻元件<br>$R$ | $i = \frac{u_R}{R}$<br>或<br>$u_R = iR$          | $I = \frac{U_R}{R}$<br>或<br>$U_R = IR$               | $W = \int_0^t u i dt = UI t$<br>式中：<br>① $t$ 为电流通过电阻的时间，<br>单位为 s。<br>② 电能的单位为 J（焦耳）<br>$1J = 1W \cdot s$     | 这里所说的 $R$ 是线性电阻，流过 $R$ 的电流与 $R$ 两端的电压成正比，电流通过 $R$ 时会消耗能量 |
| 纯电感元件<br>$L$ | $u_L = L \frac{di}{dt}$<br>有效值<br>$U_L = I X_L$ | $U_L = 0$<br>（短路）<br>表明 $L$ 具有动态的特性，有阻止交流电流通过的能力     | $W_L = \int_0^t L i di = \frac{1}{2} L I^2$<br>即电流 $i$ 由零加到 $I$ ，电感元件吸收的电能，是储存在 $L$ 中的能量，所以 $L$ 是储能元件，具有记忆的功能 | 电流通过纯电感元件时不消耗能量，只是储存能量（磁场能量）                             |
| 纯电容元件<br>$C$ | $i = C \frac{du}{dt}$<br>有效值<br>$U_C = I X_C$   | $I_C = 0$<br>（开路）<br>表明 $C$ 也有动态的特性，有阻止直流电流通过（隔直）的特性 | $W_C = \int_0^U C u du = \frac{1}{2} C U^2$<br>即电容电压由零升到 $U$ 时电容吸收的电能，是储存在 $C$ 中的能量，所以 $C$ 是储能元件，具有记忆的功能      | 电流通过 $C$ 时不消耗能量，只是储存能量（电场能量）                             |

### 二、电阻器的种类、识别与选用

电阻器是电路中广泛应用的基本元件，主要用途是稳定和调节电路中的电压或电流，组成分压器或分流器，调节时间常数以及作为电路中的匹配元件或消耗电能的负载等，其分类、型号及主要参数如下。

#### （一）常用电阻器的分类和命名方法

##### 1. 电阻器的分类

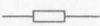
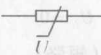
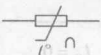
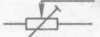
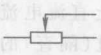
电阻器的种类繁多,形式各异,功用不同,功率也有大小之分。电子设备中常见电阻器的分类如表 1-2 所示。

表 1-2 常见电阻器的分类

| 分类方法       | 名称                                        |
|------------|-------------------------------------------|
| 构成电阻的材料    | 碳质电阻器、碳膜电阻器、金属膜电阻器、金属氧化膜电阻器、线绕电阻器等        |
| 物理性能       | 热敏电阻、光敏电阻、压敏电阻等                           |
| 用途         | 精密电阻器、高频电阻器、高压电阻器、大功率电阻器、熔断电阻器            |
| 结构形式       | 固定电阻器、可调电阻器、电位器                           |
| 电位器阻值与转角关系 | 直线式(X)、对数式(D)、指数式(Z)                      |
| 电位器结构      | 单联、双联和多联式、带开关和不带开关、可变多圈和半可变式(或微调)、旋转式和推拉式 |

常用电阻器的图形符号及名称如表 1-3 所示。

表 1-3 电阻器的图形符号及名称

| 图形符号                                                                                | 名称       | 图形符号                                                                                | 名称      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------|
|    | 固定电阻     |    | 压敏电阻    |
|  | 有抽头的固定电阻 |  | 直热式热敏电阻 |
|  | 可调电阻器    |  | 旁热式热敏电阻 |
|  | 微调电阻器    |  | 光敏电阻    |
|  | 微调电位器    |  | 电位器     |

## 2. 电阻器型号的命名方法和名称

(1) 电阻器产品的型号由四部分组成。

第一部分:主称(字母 R——电阻器, RP——电位器)。

第二部分:材料(用字母表示)。

第三部分:分类(一般用数字表示,个别类型用字母表示)。

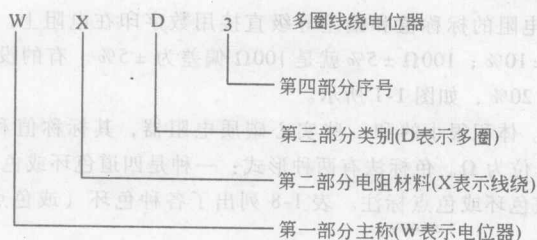
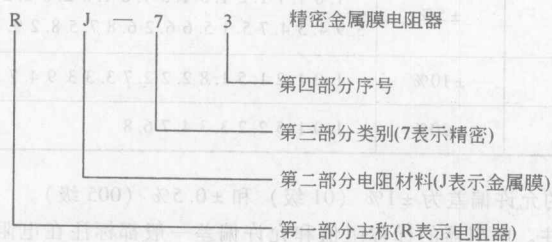
第四部分:序号(用数字表示)。

电阻器的型号命名方法及含义如表 1-4 所示。

表 1-4 电阻器和电位器的型号命名方法及含义

| 第一部分:主称 |            | 第二部分:材料 |      | 第三部分:特征分类 |       |      | 第四部分            |
|---------|------------|---------|------|-----------|-------|------|-----------------|
| 符号      | 意义         | 符号      | 意义   | 符号        | 意 义   |      |                 |
|         |            |         |      |           | 电阻器   | 电位器  |                 |
| R       | 电阻器<br>电位器 | T       | 碳膜   | 1         | 普通    | 普通   | 序号:用数字1, 2,3…表示 |
|         |            | H       | 合成膜  | 2         | 普通    | 普通   |                 |
|         |            | S       | 有机实心 | 3         | 超高频   | —    |                 |
|         |            | N       | 无机实心 | 4         | 高阻    | —    |                 |
|         |            | J       | 金属膜  | 5         | 高温    | —    |                 |
|         |            | Y       | 氧化膜  | 6         | —     | —    |                 |
|         |            | C       | 沉积膜  | 7         | 精密    | 精密   |                 |
|         |            | I       | 玻璃釉膜 | 8         | 高压    | 特种函数 |                 |
|         |            | P       | 硼碳膜  | 9         | 特殊    | 特殊   |                 |
|         |            | U       | 硅碳膜  | G         | 高功率   | —    |                 |
|         |            | X       | 线绕   | T         | 可调    | —    |                 |
|         |            | M       | 压敏   | W         | —     | 预调   |                 |
|         |            | G       | 光敏   | D         | —     | 多圈   |                 |
|         |            | R       | 热敏   | B         | 温度补偿用 | —    |                 |
|         |            |         |      | C         | 温度测量用 | —    |                 |
|         |            |         |      | P         | 旁热式   | —    |                 |
|         |            |         |      | W         | 稳压式   | —    |                 |
| Z       | 正温度系数      |         |      | —         |       |      |                 |

例如:



(2) 型号和名称。型号和名称如表 1-5 和表 1-6 所示。

表 1-5 非线性绕电阻器型号与名称

| 型号 | RS     | RT   | RTX    | RJ    | RJX     | RY    | RTL     | RTL-X     | MG   |
|----|--------|------|--------|-------|---------|-------|---------|-----------|------|
| 名称 | 实心碳质电阻 | 碳膜电阻 | 小型碳膜电阻 | 金属膜电阻 | 小型金属膜电阻 | 氧化膜电阻 | 测量用碳膜电阻 | 小型测量用碳膜电阻 | 光敏电阻 |

表 1-6 电位器型号与名称

| 型号 | WT    | WH     | WS      | WIW      | WH173   | WXD     |
|----|-------|--------|---------|----------|---------|---------|
| 名称 | 碳膜电位器 | 合成膜电位器 | 有机实心电位器 | 微调玻璃釉电位器 | 直滑碳膜电位器 | 多圈线绕电位器 |

## (二) 电阻器的识别和选用

电阻器的规格参数主要有：标称电阻值和允许偏差、标称额定功率和极限工作电压。质量参数主要有：温度系数、稳定性、噪声电动势、高频特性和机械特性等。正确地选用电阻器必须了解电阻器的这些参数，一般主要考虑标称电阻、允许误差和额定功率三个参数。下面分别予以介绍。

(1) 电阻器的标称阻值及其允许偏差。标示在电阻器上的电阻值称为电阻器的标称阻值。常用电阻器的标称阻值是按标准化系列进行生产的，表 1-7 中列出了各种偏差下的标准化系列产品的标称阻值系列值。

表 1-7 电阻器的标称阻值系列（普通型）和允许偏差

| 阻值系列 | 精度等级 | 允许偏差       | 标称阻值系列值                                                                                         |
|------|------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| E24  | I    | $\pm 5\%$  | 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 |
| E12  | II   | $\pm 10\%$ | 1.0 1.2 1.5 1.8 2.2 2.7 3.3 3.9 4.7 5.6 6.8 8.2                                                 |
| E6   | III  | $\pm 20\%$ | 1.0 1.5 2.2 3.3 4.7 6.8                                                                         |

高精度型阻值的允许偏差为  $\pm 1\%$  (01 级) 和  $\pm 0.5\%$  (005 级)。

(2) 阻值的标注。电阻器的标称阻值和允许偏差一般都标注在电阻上，其标准的方法常用直标法和色标法两种。

1) 直标法。将电阻的标称值和偏差等级直接用数字印在电阻上。例如  $5.1\text{k}\Omega \pm 10\%$ 。就是  $5100\Omega$  偏差为  $\pm 10\%$ ； $100\Omega \pm 5\%$  就是  $100\Omega$  偏差为  $\pm 5\%$ 。有的没有标注偏差等级的，则一律表示偏差为  $\pm 20\%$ ，如图 1-1 所示。

2) 色码表示法。体积很小的和一些实心碳质电阻器，其标称值和偏差常以色标法表示，标称电阻值的单位为  $\Omega$ 。色标法有两种形式：一种是四道色环或色点表示法，另一种是对精密电阻采用五道色环或色点标注。表 1-8 列出了各种色环（或色点）所表示的阻值和允许偏差的等级。

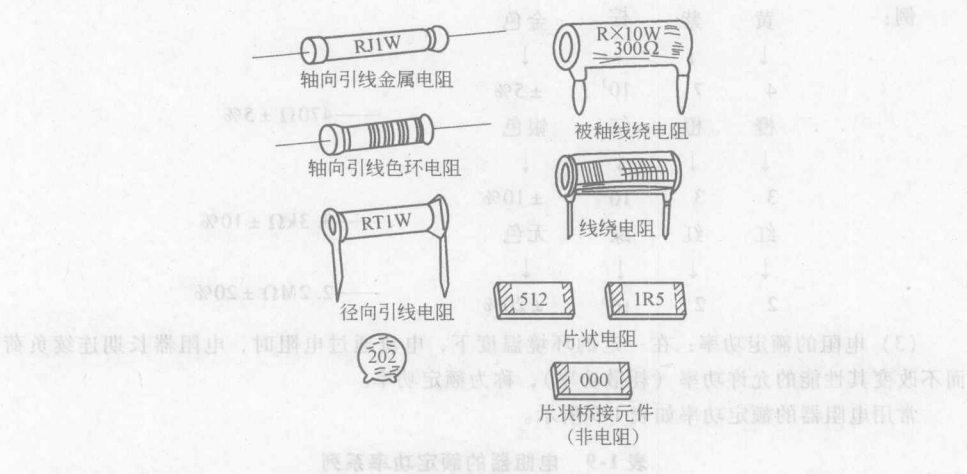


图 1-1 电阻器的直标法

表 1-8 不同色环表示阻值和允许偏差

| 颜色 | 第一位数 | 第二位数 | 倍 乘 数                      | 允 许 偏 差     |
|----|------|------|----------------------------|-------------|
| 黑  | —    | 0    | $\times 10^0 = 1$          | —           |
| 棕  | 1    | 1    | $\times 10^1 = 10$         | $\pm 1\%$   |
| 红  | 2    | 2    | $\times 10^2 = 100$        | $\pm 2\%$   |
| 橙  | 3    | 3    | $\times 10^3 = 1000$       | —           |
| 黄  | 4    | 4    | $\times 10^4 = 10000$      | —           |
| 绿  | 5    | 5    | $\times 10^5 = 100000$     | $\pm 0.5\%$ |
| 蓝  | 6    | 6    | $\times 10^6 = 1000000$    | $\pm 0.2\%$ |
| 紫  | 7    | 7    | $\times 10^7 = 10000000$   | $\pm 0.1\%$ |
| 灰  | 8    | 8    | $\times 10^8 = 100000000$  | —           |
| 白金 | 9    | 9    | $\times 10^9 = 1000000000$ | —           |
| 银  | —    | —    | $\times 10^{-1} = 0.1$     | $\pm 5\%$   |
| 银  | —    | —    | $\times 10^{-2} = 0.01$    | $\pm 10\%$  |
| 无色 | —    | —    | —                          | $\pm 20\%$  |
| 外形 |      |      |                            |             |

第一和第二（五色环第三）个色环分别表示电阻值的第一和第二两位数字，第三个色环表示再乘以 10 的  $n$  次方数，第四个色环表示允许偏差的等级。没有印上第四个色环，则表示其允许偏差为  $\pm 20\%$ 。