

Electronic Circuit  
Design and Debugging

# 电子电路 设计与调试

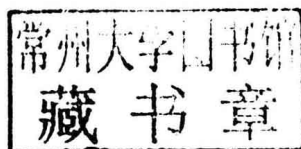
王进君 丁镇生 编著

 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>

# 电子电路设计与调试

王进君 丁镇生 编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书介绍了线性电路和非线性电路的具体应用。线性电路将电路线性化后经 A/D 转换成数字量以数字方式显示被测量。本书线性电路部分主要有温度、压力、流量、长度、转速、重量、转矩等的数字测量以及可编程增益放大器；非线性电路部分主要包括各种门电路、触发器、计数器及运放等组成的各种应用电路，如各种波形产生器、LED 灯、无触点/触摸开关、充电器、定时器、MOS 管应用及稳压电源等。电路介绍包括理论分析、设计和调试方法。

本书适合大学生、研究生、电子工程师和电子爱好者阅读。

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

电子电路设计与调试/王进君, 丁镇生编著. —北京: 电子工业出版社, 2018. 2

ISBN 978-7-121-32703-2

I. ①电… II. ①王… ②丁… III. ①电子电路-电路设计 ②电子电路-调试方法 IV. ①TN7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 227054 号

策划编辑: 曲 昕

责任编辑: 苏颖杰

印 刷: 北京京科印刷有限公司

装 订: 北京京科印刷有限公司

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: 787×1 092 1/16 印张: 20 字数: 512 千字

版 次: 2018 年 2 月第 1 版

印 次: 2018 年 2 月第 1 次印刷

定 价: 69.00 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, (010)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) 88254468。

# 前 言

本书主要为需要应用电路的大学生、研究生、电子工程师和电子爱好者提供一些电子电路设计、调试和应用的实践经验。本书所提供的电子电路，主要考虑使用普通的、易购的电子元器件，不易购的元器件一般不予采用，力争选用简洁、优良而不太复杂的电路，以利于设计、调试和制作。

本书内容包括线性电路及其应用和非线性电路及其应用两篇，包括模拟电路、数字电路和复合电路（如 555），具体有 A/D 转换器、放大器、信号发生电路、脉宽调制电路（PWM）、LED 灯、无触点开关、触摸开关电路、MOSFET 应用电路、驱动电路、日常生活电路（如厨房定时器）等。各种电路均需要直流稳压电源，因此，书中提供了各种稳压电源电路，包括高压电源电路。这些电路仅是电子沧海中的一粟，只能起到抛砖引玉的作用。

在本书编写过程中，王富毅、宋桂华、王森、张世凯等同志为提供仪器、资料及购置元器件和稿件整理等做了大量工作，在此表示谢意。

由于作者水平有限，书中的错误在所难免，恳请读者批评指正。

编著者

# 目 录

## 上 篇 线性电路及其应用

第一章 温度的测量	3
第一节 有线性校正的铂电阻温度计	3
一、传感器	3
二、测量电路	3
三、调试方法	6
第二节 高精度 K 型热电偶数字温度计	6
一、传感器	6
二、测量电路	7
三、调试方法	8
四、A/D 转换	10
第三节 高精度 J 型热电偶温度计	10
第四节 高精度物体表面温度数显仪	12
一、传感器	12
二、测量电路	12
三、设计方法	13
四、调试方法	13
第五节 电桥式数字温度计	15
一、传感器	15
二、测量电路	15
第六节 数字式固态温度计	20
一、传感器	20
二、测量电路	21
三、调试方法	22
第七节 温度测量数显/控制仪	22
一、传感器	22
二、测量电路	23
三、调试方法	24
第八节 集成传感器数字温度计接口	26
一、传感器	26
二、测温电路的设计	26
三、数字显示	27

四、调试方法 .....	27
第九节 80 点粮库巡回检测仪 .....	27
一、传感器 .....	28
二、测量电路 .....	28
三、热力学温标 - 摄氏温标的转换 .....	30
四、调试方法 .....	30
第十节 宽温域数字温度仪 .....	31
一、理论分析 .....	31
二、测量电路 .....	33
三、调试方法 .....	34
第十一节 新颖的三点定标数字温度仪 .....	35
一、传感器 .....	35
二、测量电路 .....	35
三、调试方法 .....	37
<b>第二章 压力的测量</b> .....	<b>38</b>
第一节 电子气压表 .....	41
一、传感器 .....	41
二、测量电路 .....	42
三、调试方法 .....	44
第二节 压力测量仪 .....	44
一、传感器 .....	45
二、测量电路 .....	47
三、调试方法 .....	49
第三节 数字压力测量仪 .....	49
一、传感器 .....	49
二、测量电路 .....	50
三、调试方法 .....	53
第四节 巴图 (Bar Graph) 压力表 .....	53
一、传感器 .....	54
二、测量电路 .....	55
三、调试方法 .....	58
第五节 高压数字式压力表 .....	59
一、传感器 .....	59
二、测量电路 .....	60
三、调试方法 .....	63
<b>第三章 流量、液位的测量</b> .....	<b>64</b>
第一节 导电液体液位测量的转换电路 .....	64
一、传感器 .....	64
二、转换电路 .....	64

第二节	光纤涡轮流量计	65
一、	工作原理	65
二、	传感器	65
三、	测量电路	65
第三节	使用 A/D 转换器的液位测量/控制器	69
一、	传感器	69
二、	测量/控制电路	70
三、	调试方法	72
<b>第四章</b>	<b>转速的测量</b>	<b>74</b>
一、	传感器	74
二、	测量电路	75
<b>第五章</b>	<b>长度、高度、深度的测量</b>	<b>78</b>
第一节	电阻式位移测量仪	78
一、	传感器	78
二、	工作原理	78
三、	测量电路	79
四、	调试方法	82
第二节	数字高度仪	82
一、	传感器	83
二、	测量电路	83
三、	调试原理与方法	85
第三节	简易水深测量仪	85
一、	传感器	86
二、	测量电路	86
三、	调试方法	86
第四节	植物生长测试仪	88
一、	差动变压器	88
二、	稳幅文氏振荡器	89
三、	精密整流电路	89
四、	A/D 转换	91
五、	调试方法	91
<b>第六章</b>	<b>重量、载荷、转矩的测量</b>	<b>92</b>
第一节	起重机吊钩电子秤	92
一、	传感器	92
二、	工作原理	92
三、	测量电路	92
四、	调试方法	94
第二节	数字载荷仪	95
一、	传感器	95

二、测量电路 .....	95
三、调试方法 .....	97
第三节 磁电式数字扭矩测量仪 .....	97
一、工作原理 .....	97
二、传感器 .....	98
三、测量电路 .....	98
四、调试方法 .....	101
<b>第七章 可编程增益放大器</b> .....	<b>102</b>
第一节 PGA103 可编程增益放大器 .....	102
一、基本电路 .....	102
二、可选增益电路 .....	103
三、PGA103 失调电压校准电路 .....	103
四、高输入电压放大器 .....	104
五、可编程仪用放大器 .....	104
第二节 增益可数字编程的仪用放大器 PGA202/203 的应用电路 .....	105
一、简介 .....	105
二、应用电路 .....	106
第三节 PGA204/205 可编程增益仪用放大器 .....	109
一、简介 .....	109
二、应用电路 .....	110
第四节 数控增益放大器 .....	116
一、3 位二进制数控增益放大器 .....	117
二、4 位二进制数控增益放大器 .....	117
第五节 数字电位器 MAX5431 应用电路——可编程放大器 .....	118
一、简介 .....	118
二、MAX5431 的应用电路 .....	119

## 下 篇 非线性电路及其应用

<b>第八章 正弦波振荡器</b> .....	<b>123</b>
第一节 文氏电桥振荡器 .....	123
第二节 文氏电桥振荡器应用电路 .....	124
第三节 频率可调的正弦振荡器 .....	124
第四节 正弦波发生器 .....	125
第五节 正交信号发生器 .....	126
第六节 稳定的正弦波发生器 .....	126
第七节 经典的正弦波发生器 .....	127
第八节 输出频率可调的文氏电桥振荡器 .....	128
第九节 稳幅低频信号发生器 .....	128
第十节 由 CMOS 4007 组成的文氏电桥振荡器 .....	129



第十一节	400Hz 正弦波电源	130
第十二节	哈特莱振荡器	131
第十三节	正弦波输出缓冲放大器	132
<b>第九章</b>	<b>函数发生器</b>	<b>133</b>
第一节	方波/三角波发生器	133
第二节	三角波/方波发生器	134
第三节	正弦波/方波振荡器	135
第四节	正弦波/方波/三角波发生器	136
第五节	实用三角波/方波发生器	136
第六节	多种输出波形信号发生器	138
第七节	输出频率 0.07Hz ~ 230kHz 的函数发生器	140
<b>第十章</b>	<b>晶体振荡器</b>	<b>143</b>
第一节	场效应管晶体振荡器	143
第二节	微型石英振荡器	144
第三节	五组晶体振荡器电路	144
第四节	1Hz 时钟信号发生器	146
第五节	晶振 1Hz 信号发生器	146
第六节	60Hz 频率源电路	147
第七节	低噪声晶体振荡器	147
第八节	低压晶体振荡器	148
第九节	晶振时基电路	149
第十节	高稳定度的晶体振荡器	149
第十一节	高频晶体振荡器	150
第十二节	精确的晶体振荡器	151
<b>第十一章</b>	<b>脉宽调制 (PWM) 电路</b>	<b>153</b>
第一节	占空比可调的多谐振荡器	153
第二节	压控占空比发生器电路	154
第三节	占空比可变的振荡器	156
第四节	由 40106 组成的 PWM 电路	156
第五节	555/7555 压控振荡器	157
第六节	可选择占空比的脉冲发生器	157
第七节	占空比为 0 ~ 100% 的脉宽调制器	159
第八节	直流电动机脉宽调制调速器	160
第九节	直流电动机的 PWM 调速电路	160
<b>第十二章</b>	<b>多谐振荡器</b>	<b>163</b>
第一节	最简单的多谐振荡器	163
第二节	自启动多谐振荡器	163
第三节	555/7555 无稳态多谐振荡器	164
第四节	由反相器组成的多谐振荡器	165

第五节	由 $R$ 、 $C$ 构成的多谐振荡器	166
第六节	压控多谐振荡器	166
第七节	由多谐振荡器组成的通路测试仪	167
第八节	振荡频率为 400Hz 的振荡器	168
第九节	400Hz 电源	168
第十节	双无稳态多谐振荡器	169
第十一节	由 4013 组成的多谐振荡器	170
第十二节	由 4047 组成的多谐振荡器	170
第十三节	大功率多谐振荡器	171
<b>第十三章</b>	<b>LED 灯</b>	<b>173</b>
第一节	简易 LED 灯	173
第二节	LED 闪光灯/照明灯	173
第三节	一节电池 LED 手电筒电路 (1)	174
第四节	一节电池 LED 手电筒电路 (2)	175
第五节	一节电池 LED 手电筒电路 (3)	176
第六节	大功率 LED 驱动电路	176
第七节	电容降压式 LED 灯电路	177
第八节	LED 节能电路	177
第九节	LED 灯调光器	178
第十节	闪光灯控制电路	179
	一、振荡器电路	179
	二、闪光电路	179
第十一节	压控 LED 变色灯	180
第十二节	超级电容储能太阳能灯电路	180
第十三节	极省电的 LED 闪光灯	182
<b>第十四章</b>	<b>无触点开关</b>	<b>184</b>
第一节	用于交流电的光敏开关	184
	一、电容降压稳压电源	184
	二、交流电光敏开关电路	185
	三、负载 $R_L$	186
	四、设计方法与元器件选择	186
	五、数据测试	186
第二节	固态继电器的应用电路	186
第三节	固体继电器无触点开关电路	188
第四节	光控闪光灯电路	188
第五节	MOSFET 负载开关	190
第六节	由晶闸管组成的无触点开关	190

第七节	无触点交流插座 .....	191
<b>第十五章</b>	<b>定时器</b> .....	<b>193</b>
第一节	定时器电路 .....	193
第二节	简易九挡定时器 .....	194
第三节	秒时间累计器 .....	194
第四节	通用定时器 (1) .....	196
第五节	通用定时器 (2) .....	198
第六节	由 CD4060 和 CD4013 组成的长周期定时器 .....	200
第七节	电容倍增器式长时定时器 .....	201
第八节	长间隔定时器 .....	202
第九节	宽量程定时器 .....	204
一、	定时原理与计算 .....	204
二、	4017 和 4020 的分频原理 .....	205
三、	执行电路 .....	205
第十节	烹饪定时器 .....	205
第十一节	LED 延时电路 .....	207
<b>第十六章</b>	<b>充电器电路</b> .....	<b>209</b>
第一节	自动充电器 (1) .....	209
第二节	自动充电器 (2) .....	210
第三节	电池自动充电器 (1) .....	211
第四节	电池自动充电器 (2) .....	211
第五节	具有极性保护的恒流充电电路 .....	213
第六节	恒流电池充电电路 (1) .....	214
第七节	恒流电池充电电路 (2) .....	215
第八节	PWM 电池充电器 .....	215
第九节	纽扣电池充电器 .....	217
第十节	太阳能充电器 .....	218
第十一节	镍氢电池充电器 (1) .....	220
一、	基准电压 $U_{REF}$ 产生电路 .....	220
二、	大电流充电 .....	220
三、	小电流充电 .....	220
第十二节	镍氢电池充电器 (2) .....	222
第十三节	可选充电时间小型恒流自动充电器 .....	225
第十四节	太阳能电池恒流充电器 .....	228
第十五节	场效应管恒流源充电电路 .....	229
<b>第十七章</b>	<b>驱动器</b> .....	<b>230</b>
第一节	继电器驱动器 .....	230

第二节	螺线管驱动器	230
第三节	MOSFET 电感驱动器	231
第四节	双向晶闸管驱动器	231
第五节	激光二极管驱动器	232
第六节	激光二极管脉冲驱动电路	232
第七节	蜂鸣器驱动器	233
第八节	扬声器驱动电路	234
<b>第十八章</b>	<b>触摸开关</b>	<b>235</b>
第一节	简易触摸开关	235
第二节	触摸式随机亮灯电路	235
第三节	由同相缓冲器组成的触摸开关	236
第四节	由反相缓冲器组成的触摸开关	236
第五节	由 CMOS 与非门 4011 组成的触摸开关	237
第六节	双稳态触摸开关	237
第七节	双稳触摸开关	238
第八节	由 J-K 触发器组成的触摸开关	239
第九节	四路触摸开关	240
第十节	电子触摸开关	241
第十一节	施密特触摸开关	242
<b>第十九章</b>	<b>万能 CMOS 集成电路 4007 的工作原理与应用</b>	<b>243</b>
第一节	万能 CMOS 集成电路 4007 的工作原理	243
第二节	各种门电路	244
第三节	线性放大器/恒流源/可变电阻电路	248
第四节	电流驱动器	251
第五节	传输门与模拟开关	252
第六节	振荡器与波形发生器	253
第七节	CMOS 反相器的各种电路	257
第八节	4007 的应用电路	258
<b>第二十章</b>	<b>MOSFET 应用电路</b>	<b>264</b>
第一节	增强型功率 MOSFET 的应用	264
第二节	快速大功率“稳压二极管”电路	270
第三节	VMOS 开关稳压电源	271
第四节	场效应管作为变阻器的电路	272
<b>第二十一章</b>	<b>稳压电源电路</b>	<b>273</b>
第一节	由 TL431 组成的小电流高精度稳压电源	273
第二节	无变压器直流电源	274
第三节	高压稳压电源	275

第四节	稳压电源短路保护电路	276
第五节	输出电流为 5A 的稳压器电路	277
	一、LM138K 参数性能简介	277
	二、5A 稳压器电路	278
	三、设计方法	278
第六节	12V/5A 稳压电源的设计	279
第七节	跟踪式大电流可调稳压器电源	280
第八节	调整管并联增大输出电流的电路	281
第九节	单片 5A 稳压电源	281
第十节	双向电源电路	282
	一、电路组成与工作原理	282
	二、储能元件 $L$ 的工作原理与过程	283
	三、实测电压及对晶体管的要求	283
	四、电感的选择	283
第十一节	电压稳定性能良好的运放稳压器	284
	一、电路原理	284
	二、设计方法	284
	三、试验结果	284
	四、电路的用途	285
	五、增大负载电流的方法	285
第十二节	$0 \sim \pm 15\text{V}$ 对称稳压器	285
第十三节	由通用运放 $\mu\text{A}741$ 和达林顿管组成的稳压电路	286
	一、电路	286
	二、元器件的选择	286
	三、电源电压 $U^+$ 与 $U_0$ 的对应关系	287
<b>第二十二章</b>	<b>其他电子电路</b>	<b>288</b>
第一节	驱鸟器	288
第二节	带有音响的数字分频器	289
第三节	熔丝检测器	290
第四节	简洁优良的音频放大器	290
第五节	连续方波/脉冲串发生器	292
第六节	3 位计数器 CD4553 的应用电路	292
	一、巧用 4553 组成 $3\frac{1}{2}$ 位计数器	292
	二、6 位计数器电路	294
第七节	电子警笛	296
第八节	表面安装元器件的小型焊机电路	297
第九节	宽量程数字电容表	299

一、电路原理 .....	299
二、由 555 及外围电路组成的多谐振荡器 .....	299
三、由 555 及外围电路组成的单稳态触发器 .....	299
四、基准脉冲发生器 .....	300
五、闸门控制器 .....	301
六、计数译码驱动显示电路 .....	301
七、量程转换计算及误差分析 .....	301
八、整体电路 .....	303
参考文献 .....	304

# 上 篇

## 线性电路及其应用

---

---

现代仪器仪表和显示屏多用数字显示测量输出值，有些仪器仪表需要将被测量线性化，然后输入至 A/D 转换器，将模拟量转换成数字量，之后由 LCD 或 LED 数码管显示出被测量。

温度、压力和流量是化工生产的三大参数，本篇介绍了一些简单的数字仪表电路。旋转机械的转速是旋转机械设计、运行监测的重要参数，本篇介绍了测量转速的基本方法和电路。长度、高度、深度、重量和载荷的测量，也是生产、科研和生活需要的，本篇做了简单介绍。

线性电路的重要分支之一是线性放大器，本篇介绍了可编程增益放大器，这些放大器精度高、失真小，调试简单，使用方便。





# 第一章 温度的测量

温度是表征物体冷热程度的物理量，在工农业生产、科研、生活领域是一个重要的测量参数，它对产品的设计、产品的质量、生产效率、节约能源、生产安全、人体健康起着非常重要的作用。温度测量与控制应用范围十分广泛，温度传感器的数量在各种传感器中占据首位，约占 50%。

温度的测量都是根据传感器或敏感元件进行的，常用的测温方法有以下几种。

(1) 利用铜电阻 ( $-50 \sim +150^{\circ}\text{C}$ )、铂电阻 ( $200 \sim +600^{\circ}\text{C}$ )、热敏电阻 (低温： $-200 \sim 0^{\circ}\text{C}$ ；一般温度： $-50 \sim 30^{\circ}\text{C}$ ；中温： $0 \sim 700^{\circ}\text{C}$ ) 的电阻值变化，特别是利用铂电阻阻值随温度的变化测量温度，在工业、科研领域的应用十分广泛。本章第一节、第四节、第五节、第七节、第十一节等节中介绍的测温仪表或电路均是利用铂电阻作为传感器的。

(2) 利用镍铬-考铜 ( $-200 \sim 800^{\circ}\text{C}$ )、镍铬-镍硅 (铝) ( $-200 \sim 1250^{\circ}\text{C}$ )、铂铑<sub>30</sub>-铂铑 ( $100 \sim 1900^{\circ}\text{C}$ ) 等热电偶的热电效应。本章第二、三节均介绍了使用热电偶作为测温传感元件。

(3) 利用半导体 PN 结电压随温度的变化。本章第六节介绍。

(4) 利用晶体管特性变化制成的集成温度传感器，如 AN6701、AD590、LM134 等。本章的第九、十节均采用 AD590 作为测温元件。

## 第一节 有线性校正的铂电阻温度仪

利用铂电阻测温的电路很多。本节介绍的测温电路具有线性校正环节，电路简单，有足够的测量精度。本节利用两种电路进行比较、分析，对初学者具有较高的参考价值。

### 一、传感器

传感器采用铂电阻 TRRA102B 型的 R1000 的感温元件 (本节电路图中表示为  $R_1$ )，传感器在  $0^{\circ}\text{C}$  时的阻值为  $1000\Omega$ ，当然也可使用 R100、 $R_{46}$  铂电阻，但线性校正电位器应适当选择。

### 二、测量电路

这里给出两种测温电路，即无线性校正的测温电路和有线性校正的测温电路，以便读者进行对比。

#### 1. 无线性校正的测温电路

无线性校正的测温电路如图 1.1.1 所示。令  $U_{\text{REF}}$  是 A/D 转换器的基准电压， $U_{\text{IN}}$  是 A/D