

硬件电路设计 及应用案例

yingjiandianlushejijiyingyongshili

于洋 刘晓彬 姬胜红 编著

 延边大学出版社

硬件电路设计及应用实例

于洋 刘晓彬 姬胜红 编著

延边大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

硬件电路设计及应用实例 / 于洋, 刘晓彬, 姬胜红
编著. —延吉: 延边大学出版社, 2016.6

ISBN 978-7-5688-0589-6

I. ①硬… II. ①于…②刘…③姬… III. ①硬件—
电子电路—电路设计 IV. ①TN702

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第154466号

硬件电路设计及应用实例

编 著: 于洋 刘晓彬 姬胜红

责任编辑: 崔军

封面设计: 金胜铉

出版发行: 延边大学出版社

社址: 吉林省延吉市公园路977号 邮编: 133002

网址: <http://www.ydcbs.com>

电话: 0433-2732435

传真: 0433-2732434

发行部电话: 0433-2732442

传真: 0433-2732266

印刷: 三河天润建兴印务有限公司

开本: 880×1230毫米 1/32

印张: 5.75

字数: 150千字

版次: 2016年6月第1版

印次: 2016年6月第1次

ISBN 978-7-5688-0589-6

定价: 24.00元

前 言

当今世界正在进入高科技支撑的信息时代，信息技术的飞速发展，特别是物联网等新技术的兴起，正在改变社会生活的各个方面。而作为信息技术的底层基础——硬件电路，更是在工业检测、医疗设备、娱乐电子、国防军事等诸多领域被应用到了极致。

硬件电路基本分为模拟电路和数字电路。模拟电路通常采用的元器件包括分立元器件和集成元器件，如电阻、电容、电感、三极管等；而数字电路通常使用门电路、串并转换、AD/DA 转换等逻辑器件和微处理器进行电路设计，使其在执行基本逻辑的基础上，实现复杂器件、设备的功能控制。

以本书作者多年的教学与实践经验来看，只有理论与实践相结合才能更好更快地掌握硬件电路设计的基本方法。为此，本书的内容编排，在力求理论与实践、实用与实战有机结合的基础上，结合大量的应用实例，由浅入深、由易到难，利用公式计算和定量、定性分析，以完整的分析设计实例深入浅出地讲述硬件电路的基本设计方法，以使读者能够深刻理解和快速掌握。

本书的内容安排如下：

第 1 章详细讲述常用的电子元器件及其使用要点和识别方法，包括电阻、电容、二极管、三极管、数码管、继电器、集成电路等。

第 2 章在第 1 章基本硬件电路设计的方法、注意事项的基础上，将利用 Altium Designer 硬件电路设计软件完成基于 FPGA 可编程逻辑器件的外围元器件硬件电路的设计，并详解不同类别的 FPGA 器件的设计要求。

第 3 章将利用基于 Quartus II 软件的整合工具 Qsys 集成设计工具，使读者在了解 Qsys 基本功能的基础上，讲述 Qsys 的 Nios II 处理器设计



和 IP core 的设计实例。

第 4 章在前面章节的基础上,讲述基于 Cyclone 系列 FPGA 的综合应用实例硬件电路设计。

本书由中国人民武装警察部队学院副教授于洋、廊坊广播电视台姬胜红、中国人民武装警察部队学院副教授刘晓彬编著。

第一章由姬胜红、刘晓彬编著,其中刘晓彬撰写第 1-6、8 节,姬胜红撰写第 7 节;

第二章由于洋、姬胜红编著,其中姬胜红撰写第 1 节,于洋撰写 2 节;

第三章由于洋编著;

第四章由于洋、姬胜红编著,其中姬胜红撰写第 1 节,于洋撰写第 2、3、4 节。

全书由于洋统稿、定稿。

由于作者的水平有限,书中难免会有疏忽、不当甚至错误之处,恳请读者批评指正。

目 录

前 言	1
第 1 章 基本元器件使用要点及设计实例	1
1 电阻识别方法及使用要点	1
1.1 普通电阻识别方法	3
1.2 贴片电阻识别方法	4
1.3 热敏电阻使用要点	4
1.4 光敏电阻使用要点	5
2 电容识别及使用要点	9
2.1 电容器标示与特性	9
2.2 电容器检测	12
3 电感识别及使用要点	12
3.1 电感分类与命名方法	12
3.2 电感检测	14
4 二极管	14
4.1 二极管分类及电学特性	14
4.2 二极管检测	15
4.3 二极管使用注意事项	16
5 半导体三极管	19
5.1 三极管极性的判定	21



5.2	三极管极间电阻的测量	21
6	传感器及其基本应用	21
6.1	可燃气体传感器应用实例	21
6.2	热敏传感器应用实例	24
7	综合设计实例一	28
7.1	电路设计背景	28
7.2	基本设计框图	29
7.3	利用 Microsoft Office Visio 绘制原理框图	30
7.4	液位报警电路的设计与实现	34
7.5	滴液计数器的设计与实现	40
7.6	电源电压变换电路的设计与实现	42
7.7	电路原理图及 PCB 图	42
8	综合应用实例二	44
8.1	综合硬件电路装置的硬件电路设计	44
8.2	消防实验装置的硬件电路设计	47
第 2 章	基于 FPGA 的外围硬件电路设计	51
1	Altium Designer	51
1.1	Altium Designer 概述	51
1.2	利用 Altium Designer 实现 FPGA 设计的库文件支持	51
1.3	基于 Altium Designer 的 FPGA 设计方法	53
2	基于 Altium Designer 的 FPGA 硬件电路设计实例	60
2.1	基于 Cyclone 系列 FPGA 的配置器件硬件电路设计	60
2.2	基于 Cyclone 系列 FPGA 的 A/D、D/A 硬件电路设计	66
2.3	基于 Cyclone 系列 FPGA 的 SRAM、SDRAM 硬件电路设计	71

2.4 基于 Cyclone 系列 FPGA 的 Flash 硬件电路设计	84
第 3 章 基于 Qsys 的 IP core 的设计实例	99
1 Qsys 概述	99
2 基于 Qsys 的 Nios II 处理器的设计	100
3 基于 Qsys 的 IP core 的设计实例	103
3.1 基于 Qsys 的 EPCS Serial Flash Controller 设计实例	104
3.2 基于 Qsys Interconnect 的 Altera Avalon Compact Flash 设计	107
3.3 基于 Qsys DDR2 SDRAM IP core 的设计实例	128
第 4 章 基于 FPGA 的综合应用实例硬件电路设计	137
1 利用 EP1C6Q240C8 处理器的 LCD 滚屏设计	137
1.1 基于 EP1C6Q240C8 Nios II 处理器的设计	137
1.2 基于 EP1C6Q240C8 外围电路的硬件设计	142
1.3 构建基于 LCD 滚屏设计的软件开发平台	143
2 利用 EP2C15AF256C6 实现智能家居系统的设计	147
2.1 系统总体方案	148
2.2 EP2C15AF256C6 处理器及 IP core 的设计	149
2.3 基于 EP2C15AF256C6 实现智能家居主要外围 电路的设计	153
3 利用 EP3C16E144C7 实现火灾探测机器人硬件电路设计	159
3.1 总体设计方案	159
3.2 基于 Qsys 的 EP3C16E144C7 处理器设计	160
3.3 基于 Qsys 的 EP3C16E144C7 处理器外围电路设计	163
3.4 火灾探测、报警及灭火硬件电路设计	165

4 利用 EP4CE22F17C8 实现无线输液监控系统硬件设计	167
4.1 系统总体方案	168
4.2 基于 EP4CE22F17C8 的 IP core 设计	169
4.3 基于 EP4CE22F17C8 实现输液监测无线报警系统 主要外围电路的设计	171
参考文献	175

第 1 章 基本元器件使用要点及设计实例

常用的电子元器件包括电阻、电容、二极管、三极管、数码管、继电器、集成电路等，其使用要点和识别方法各有不同。

1 电阻识别方法及使用要点

电阻分为普通电阻、电阻排、贴片电阻、可调电阻、热敏电阻和光敏电阻等，如图 1-1-1 所示；可在 Altium Designer summer 9.0 的 Miscellaneous Connectors.IntLib 库文件中查询并选用相应的电阻器件完成原理图和 PCB 图的设计，如图 1-1-2 所示；并可根据设计要求设置 designator、comment 值及其可见性、value 及可见性等相关参数，如图 1-1-3 所示。

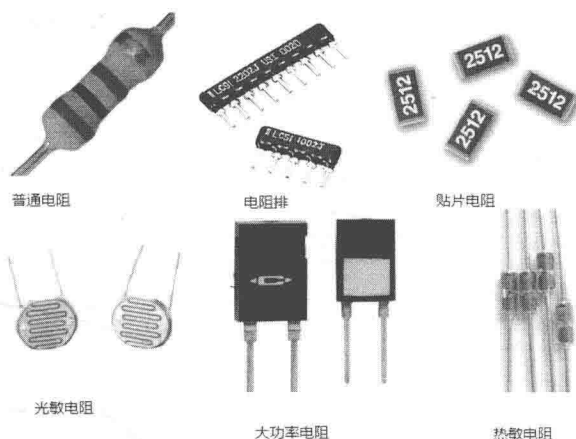


图 1-1-1 电阻分类

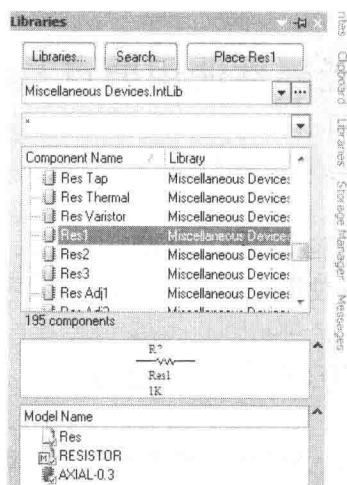


图 1-1-2 电阻库文件

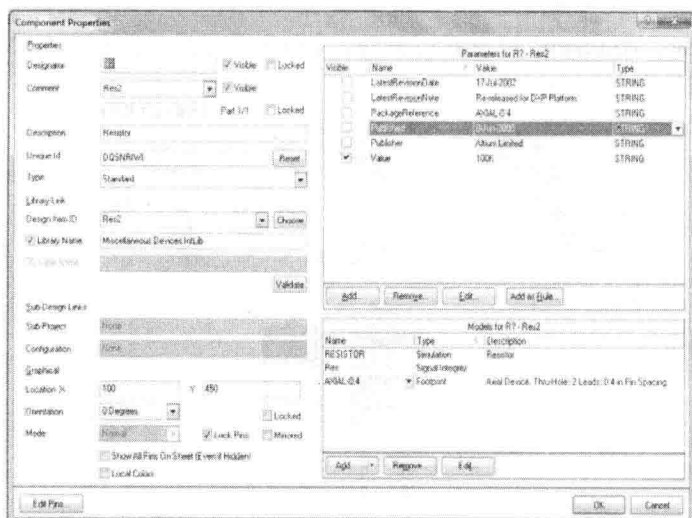
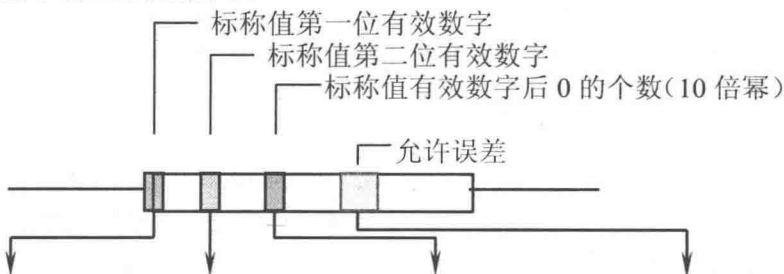


图 1-1-3 电阻特性设置界面

1.1 普通电阻识别方法

普通电阻最常见的表示方法是色环标注法，色环分为四环和五环，精密稍高的电阻器用五环表示。识别方法为，紧靠电阻体一端头的色环为第一环，露着电阻体本色较多的另一端头为末环。如果用四环表示，前面两位数字是有效数字，第三位是 10 的倍幂，第四环是色环电阻器的误差范围。两位有效数字的色环标注法，如图 1-1-4 所示

四色环电阻的识别方法：



颜色	第一位有效值	第二位有效值	倍率	允许偏差
黑	0	0	10^0	
棕	1	1	10^1	$\pm 1\%$
红	2	2	10^2	$\pm 2\%$
橙	3	3	10^3	
黄	4	4	10^4	
绿	5	5	10^5	$\pm 0.5\%$
蓝	6	6	10^6	$\pm 0.25\%$
紫	7	7	10^7	$\pm 0.1\%$
灰	8	8	10^8	
白	9	9	10^9	$-20\% \sim +50\%$
金			10^{-1}	$\pm 5\%$
银			10^{-2}	$\pm 10\%$
无色				$\pm 20\%$

图 1-1-4 两位有效数字阻值的色环表示法

以此类推，五色环电阻器的前三个色环是标称值的前三位有效数字，第四位是 10 的倍幂，第五环是色环电阻器的误差范围。

1.2 贴片电阻识别方法

贴片电阻在国内的命名方法有两种：一是 5%精度的命名方法，如 RS-05K102JT；二是 1%精度的命名方法，如 RS-05K1002FT，其中：

R ——表示电阻；

S ——表示功率，即 0402 是 1/16W，0603 是 1/10W，0805 是 1/8W，1206 是 1/4W，1210 是 1/3W，1812 是 1/2W，2010 是 3/4W，2512 是 1W；

05 ——表示尺寸（英寸）：02 表示 0402，03 表示 0603，05 表示 0805，06 表示 1206，1210 表示 1210，1812 表示 1812，10 表示 2010，12 表示 2512；

K ——表示温度系数，为 100PPM；

102 是 5%精度阻值表示法：前两位表示有效数字，第三位表示有多少个零，基本单位是 Ω ， $102=1000\Omega=1k\Omega$ ，如 612，即 6100 欧；

1002 是 1%阻值表示法：前三位表示有效数字，第四位表示有多少个零，基本单位是 Ω ， $1002=10000\Omega=10k\Omega$ ，如 6271，即 6270 Ω ；

J ——表示精度为 5%、F—表示精度为 1%；

T ——表示编带包装。

1.3 热敏电阻使用要点

热敏电阻根据温度系数的正反向变化分为正温度系数热敏电阻（PTC）和负温度系数热敏电阻（NTC），前者随温度的升高其阻值越大，后者随温度的升高其阻值越小。该特性可使其监测 10^{-6}°C 的温度变化。

热敏电阻在使用前应进行正确检测，如 PTC 利用万用表分别在 25°C 左右的常温下和将电烙铁靠近对其加温的条件下，分别测量其阻值（将万用表调至电阻档，表笔接到热敏电阻两端），观察阻值随温度的变化

情况。若一定温度下其阻值趋于稳定,则该热敏电阻可用来设计温控电路;否则,该热敏电阻已损坏无法使用。

1.4 光敏电阻使用要点

根据光谱特性,光敏电阻器可分为以下几类:紫外光光敏电阻器、红外光光敏电阻器、可见光光敏电阻器。设计电路时,可根据光谱特点和应用范围,选择不同类型的光敏电阻满足电路设计要求。

光敏电阻使用时应注意以下几点:

(1) 使用前,应测量有光照射时的亮电阻值和无光照射时的暗电阻值,以初步了解光敏电阻的光照指数;

(2) 设计时,应尽量防止杂光的干扰,可根据设计电路基本要求选用光电特性与光源光谱特性相匹配、恰当光照指数的光敏电阻。例如,进行模拟电路设计时,应选用光照指数小、线性特性好的光敏电阻;进行数字电路设计时,应选用亮暗电阻差别较大、光照指数大的光敏电阻。

光敏电阻应用实例:光控防盗报警器

以光敏电阻为传感器的光控防盗报警器原理图如图 1-1-5 所示,运用导线、扬声器、光敏电阻、555 集成电路完成该应用电路设计。通过实验测量,在光照射情形下,光敏电阻的亮电阻值约数十千欧;无光线情形下,其暗电阻值高达数兆欧。

本例以光敏电阻为传感器、利用 555 集成电路构成光控防盗报警器,其工作原理为:利用电路中电容的充放电时间随光敏电阻阻值的变化,从而产生音频震荡信号,以此构成音频振荡器,驱动扬声器发音,即,当光敏电阻无光照时(在暗处时),较大的暗电阻值使得该电路等效于开路状态,555 集成电路无法形成音频振荡,扬声器不发声;当光敏电阻受到光线照射时,其亮电阻值迅速下降,555 集成电路产生音频振荡,扬声器发出声音报警,告警音调的高低可利用电位器进行调节。

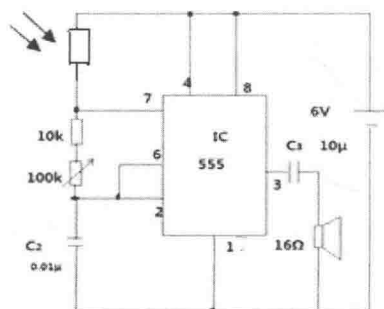


图 1-1-5 以光敏电阻为传感器的光控防盗报警器原理图

通常进行电路设计时，应将理论分析与实践测试有机结合，以实现设计电路较好的应用效果。本例中，以光敏电阻为传感器的光控防盗报警器在理论分析和原理图设计的基础上，对该应用电路进行了实验测试，并利用虚拟仪器获取电路输出波形，通过理论数据分析与对比，为该电路的实际应用奠定了基础。

(1) 光敏电阻的亮电阻值和暗电阻值的测试

测试时分有光和无光两种情形：

- ①当光敏电阻处于光照射情形时：电阻值为 $3.5\text{k}\Omega$ 。
- ②当光敏电阻处于无光线情形时：电阻值为 $1.1\text{M}\Omega$ （本测试电路中，仅置于黑色笔袋中）。

(2) 光线变化对告警音调的影响

当光度变化由光照射情形到无光线情形时，告警音调由响亮到低沉，直至没有报警声。

(3) 具体测试方法

安装时，可将光敏电阻放在黑色笔袋当中，一旦见光就会报警。

首先，利用黑色笔袋将光敏电阻分别放于笔袋内和笔袋外：

处于笔袋外时（光照射情形）：在接通电路的情况下，由于室内白天光照比较强，报警器能够正常发出报警声。

处于笔袋内时（无光线情形）：在接通电路的情况下，起初由于操

作不当,密封性控制不好,报警器发出微弱的报警声;通过完善笔袋的密封性,确保笔袋内部黑暗无光,这时发现报警器没有任何声音。

其次,通过左右拧动电位器旋钮,改变其阻值。随着电位器阻值的变化,报警声音出现尖锐至低沉的相应变化。由此可知,电阻器阻值的变化改变了报警电路的充放电时间,使得输出的音频振荡频率产生音调的高低变化。

(4) 测试数据截图及相应的理论分析

R 代表光敏电阻, R_1 代表 $10\text{k}\Omega$ 电阻, R_2 代表 $100\text{k}\Omega$ 电位器, C_1 代表电容。

在整个测试过程中,电阻器的阻值设为最大值 $100\text{k}\Omega$ 。

① 当光敏电阻完全处于光照射情形

在测试时,在笔袋外对 R 值进行了测定, $R=3.50\text{k}\Omega$,报警器的输出波形如 1-1-6 图所示。其理论计算为:

$$\begin{aligned} T_1 &= (R+R_1+R_2) \times C_1 \times \ln 2 \\ &= (3.5+10+100) \times 10^3 \times 0.01 \times 10^{-6} \times \ln 2 = 0.000787 \text{ (s)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_2 &= (R_1+R_2) \times C_1 \times \ln 2 \\ &= (100+10) \times 10^3 \times 0.01 \times 10^{-6} \times \ln 2 = 0.000762 \text{ (s)} \end{aligned}$$

$$T = T_1 + T_2 = 0.000787 + 0.000762 = 0.001549 \text{ (s)}$$

$$F_1 = 1 / (T_1 + T_2) = 6.45\text{kHz}$$

在光敏电阻完全处于光照射情形下,由于测量仪器误差和人为光线亮度掌握不精确,导致光敏电阻的电阻测量偏小,使得充电时间 $T_1=0.000787 \text{ (s)}$ 略小于理论值,电路振荡周期 $T=0.001549 \text{ (s)} <$ 测试测量值 $dt=0.3 \text{ (ms)}$, 误差 $\Delta T=0.000152 \text{ (s)}$ 。

电路振荡频率 $F_1=6.45\text{kHz} >$ 实验测量值 $F=3.38\text{kHz}$, 误差 $\Delta F=3.07\text{kHz}$ 。

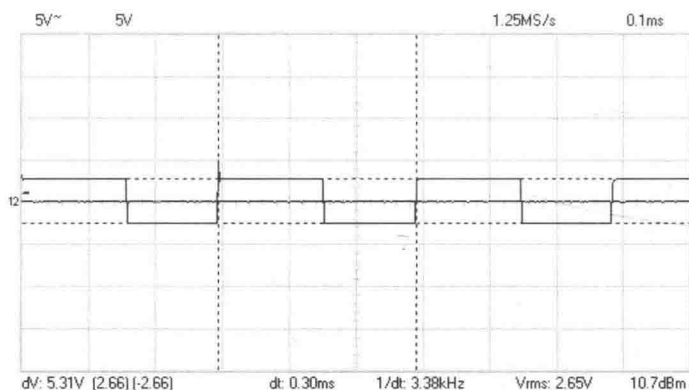


图 1-1-6 光照射情形下光控防盗报警器输出波形

②当光敏电阻处于笔袋内部（无光线情形）

在测试时，在笔袋内对 R 值进行了测定， $R=1.1M\Omega$ ，其理论计算为：

$$\begin{aligned}
 T_1 &= (R+R_1+R_2) \times C_1 \times \ln 2 \\
 &= (1100+10+100) \times 10^3 \times 0.01 \times 10^{-6} \times \ln 2 = 0.000839 \text{ (s)} \\
 T_2 &= (R_1+R_2) \times C_1 \times \ln 2 \\
 &= (100+10) \times 10^3 \times 0.01 \times 10^{-6} \times \ln 2 = 0.000762 \text{ (s)} \\
 T &= T_1 + T_2 = 0.000839 + 0.000762 = 0.001601 \text{ (s)} \\
 F_1 &= 1 / (T_1 + T_2) = 6.25 \text{ Hz}
 \end{aligned}$$

由于笔袋内部（无光线情形）非光敏电阻的理想无光线状态，使得光敏电阻的暗电阻测量偏小，因此，其输出信号相对于理想状态下伴有干扰信号的一条直线，其实际输出为无法驱动扬声器发声的极低频率振荡信号。

由上述可知，以光敏电阻为传感器、以 555 集成电路构成的光控防盗报警器可实现随光强度变化而产生不同报警声音的报警效果。当光敏电阻处于光线照射状态时，其阻值为几千欧，电路振荡频率较高，扬声