

叶朝辉 华成英 编著

可编程片上系统 (PSoC) 原理及实训

Programmable System on Chip

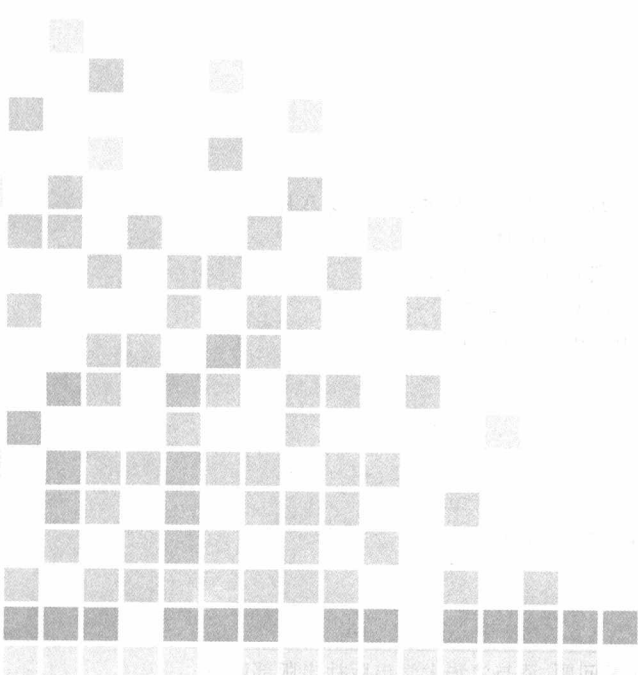
清华大学出版社



叶朝辉 华成英 编著

可编程片上系统 (PSoC) 原理及实训

Programmable System on Chip



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

PSoC(Programmable System on Chip)是赛普拉斯(Cypress)半导体公司于2003年推出的一种可“在系统编程”的片上系统。本书系统讲述 PSoC 的基本结构、常用用户模块、开发环境 PSoC Designer 和 PSoC Express,以及 PSoC 的内核、系统资源、可编程系统和其他资源;全面介绍实验平台的原理和实验方法,并结合演示实验、基本实验、提高实验、综合创新实验,由浅入深,详细阐明 PSoC 的开发方法。

本书将 PSoC 的原理和应用紧密结合,既可以作为有关课程的教科书,也可以作为教师、学生和工程技术人员在开发和研究 PSoC 时的参考书。

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

可编程片上系统(PSoC)原理及实训/叶朝辉,华成英编著. —北京:清华大学出版社,2008.5
ISBN 978-7-302-17099-0

I. 可… II. ①叶… ②华… III. 单片微型计算机—基本知识 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 022584 号

责任编辑:王一玲

责任校对:时翠兰

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

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

印 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:北京国马装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:13.5 字 数:314 千字

附光盘 1 张

版 次:2008 年 5 月第 1 版

印 次:2008 年 5 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:25.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:028782-01

片上系统(System on Chip, SoC)的概念是 20 世纪 90 年代提出的,随后即成为微电子芯片技术发展的热点。但由于 SoC 还不能满足模拟和数字混合系统的需求,它的应用远不如想象的那样广泛。2003 年 Cypress 半导体公司推出了可编程片上系统(Programmable System on Chip, PSoC),它不但集 8 位微控制器、可编程数字阵列和可编程模拟阵列为一体,而且实现了“在系统可编程”,既满足了一般电子系统的资源要求,又顺应了现代电子设计方法的发展方向。

本书是以我们的教学经验和开发实践为基础而编写的教材,全面介绍了 PSoC 的结构、原理、编程方法和实现方法,具有完整的体系结构,并设计了大量的实践环节,力图通过实训,使读者较快掌握利用 PSoC 设计和实现电子系统的方法。因此,本书既可以作为有关课程的教科书,也可以作为教师、学生和工程技术人员在开发和研究 PSoC 时的参考书。

本书力图在总体结构和内容编排上具有系统性、科学性、启发性、实用性和适用性,做到由浅入深,循序渐进,易于入门,便于自学,适于教学,利于深入研究。

本书内容包括 PSoC 基本结构、PSoC 开发环境、PSoC 实验和 PSoC 原理等四个部分,编写指导思想如下:

(1) 为了使读者能够尽快认识 PSoC,第 1 部分首先介绍 PSoC 的特点、应用、基本结构和开发步骤,并以具有代表性的两种 PSoC 为例描述 PSoC 的详细结构。

(2) 为了使读者能够尽快了解 PSoC 的开发流程和使用方法,突出实用性,第 2 部分介绍了两种 PSoC 集成开发环境的开发流程,第 3 部分则以实验为例详细介绍 PSoC 的基本开发方法及 PSoC 集成开发环境的详细使用方法。

(3) 读者在掌握了 PSoC 的基本开发方法之后,还需要理解 PSoC 原理才能开发高级应用,因此本书第 4 部分介绍 PSoC 原理。

各部分内容主要特点如下:

(1) 第 2 部分针对两种 PSoC 集成开发环境的不同特点采用不同的方法描述。PSoC Designer 以设计流程为线索介绍各个功能部分的使用,具有实用性且易于自学。PSoC Express 以其无须编程的设计思路为线索,首先使读者理解其各个功能部分的作用,然后再以设计流程为线索介绍各个功能部分的使用,力图做到使读者知其然且知其所以然。

(2) 第 3 部分实验遵循循序渐进的思想,分为演示实验、基本实验、提高实验、综合创新实验,使读者逐步掌握 PSoC 的开发方法,最后达到灵活运用 PSoC 开发实际系统的目的。

(3) 第4部分在介绍PSoC各部分原理时先介绍常用的及本书实验部分用到的资源,而将其他资源单独编为第12章置于第4部分最后,读者可根据需要查阅。

(4) 为利于自学,第1,2,4部分的每章后面均安排了自测习题。

本书由叶朝辉、华成英编著,叶朝辉执笔。

清华大学自动化系硕士生赵彦博对第8章8.3.1~8.6.1节的所有实验进行了验证,并编写了第7章和第8章的初稿,在此感谢他的辛勤劳动和对本书的贡献。

在本书编写过程中,得到了赛普拉斯半导体公司(Cypress Semiconductor Corp.),特别是赛普拉斯半导体-北京办事处的李石磊经理的支持和帮助,在此一并表示深深的谢意。

由于我们的能力和水平所限,书中定有疏漏、欠妥和错误之处,恳请各界读者多加指正。

作者

2007年12月31日

于清华园

名

词

术

语

AGND	模拟地
Analog Mux Bus	模拟多路总线
Analog PSoC Block Array	模拟模块阵列
Application Editor	应用程序编辑器
bank	页
block	块
bit	位
CapSense	电容感应
Clock Doubler	时钟倍频器
Configuration Registers	配置寄存器
CSR(CapSense Relaxation Oscillator)	张弛振荡器电容感应
Data Path	数据路径
DataSheet	数据手册
Decimator	抽取器
Delta Sigma	增量累加
Device Editor	设备编辑器
Digital Clocks	数字时钟
Digital PSoC Block Array	数字模块阵列
DMUX	输出多路选择器
DTMF(Dual-Tone Multi-Frequency)	双音多频
ECO(External Crystal Oscillator)	外部晶体振荡器
Flash	快闪存储器
FPGA(Field Programmable Gate Array)	现场可编程门阵列
GDI(Global Digital Interconnection)	全局数字互联
GIE(Global Input Even)	全局输入偶总线
GIE(Global Interrupt Enable)	全局中断使能
GIO	全局输入奇总线
GOE	全局输出偶总线
GOO	全局输出奇总线
GPIO(General Purpose IO)	通用输入输出
HALT	暂停运行
ILO(Internal Low Speed Oscillator)	内部低速振荡器

- IMO(Internal Main Oscillator) 内部主振荡器
- Interconnect View 互联视图
- Internal Voltage Reference 内部参考电压
- Interrupt Controller 中断控制器
- Interrupt Routine 中断例程
- Interrupt Source 中断源
- IO Analog Multiplexer 模拟多路转换器
- IRES(Internal Reset) 内部复位
- ispPAC(In-System Programmable Analog Circuit) 在系统可编程模拟器件
- ISR(Interrupt Service Routine) 中断服务程序
- ISSP(In-System Serial Programming) 在系统串行编程
- Loopdelay 循环延时
- LVD(Low Voltage Detect) 低电压监测
- MAC(Multiply Accumulate) 乘法累加器
- MiniProg 迷你编程器
- MIPS(Million Instructions Per Second) 百万条指令每秒
- MUX 输入多路选择器
- PLL(Phase-Locked Loop) 锁相环
- PMA(PSoC Memory Arbiter) PSoC 存储器仲裁模块
- POR(Power on Reset) 上电复位
- Port 端口
- PriorityEncoder 优先级编码器
- PRS(Pseudo Random Sequence) 伪随机序列
- PSoC(Programmable System on Chip) 可编程片上系统
- RDI(Row Digital Interconnection) 行内数字互联
- RI 行输入总线
- RO 行输出总线
- Schematic 原理图
- SetPointRegion 设置点区间
- SIE(Serial Interface Engine) 串行接口引擎
- Sleep Timer 睡眠定时器
- SMP(Switch Mode Pump) 开关式升压泵
- SRAM 静态随机存储器
- SROM(SUPERVISORY ROM) 监控 ROM
- SSC(Supervisory System Call) 监控系统调用
- StatusEncoder 状态编码器
- SYCLK 系统时钟
- SYCLK * 2 系统时钟倍频
- System Resets 系统复位

StateMachine	状态机
TableLookup	查表
Transfer Function	传输函数
User Module	用户模块
Valuator	评估器
VBG	能隙参考电压
WDT(Watch Dog Timer)	看门狗定时器
WDR(Watchdog Reset)	看门狗复位
WirelessUSB	无线 USB
XRES(External Reset)	外部复位

第 1 部分 PSoC 基本结构

第 1 章 PSoC 概述	3
1.1 PSoC 特点	3
1.2 PSoC 基本结构	4
1.3 PSoC 应用	4
1.4 PSoC 系统开发特点	5
1.5 PSoC 选型	6
习题	7
第 2 章 PSoC 结构	8
2.1 CY8C29466	8
2.1.1 引脚	8
2.1.2 内部结构	9
2.1.3 系统功能	9
2.1.4 性能指标	11
2.2 CY8C21534	11
2.2.1 引脚	11
2.2.2 内部结构	12
2.2.3 系统功能	12
2.2.4 性能指标	13
习题	13
第 3 章 PSoC 常用用户模块简介	14
3.1 数字用户模块	14
3.1.1 定时器(Timer)	15
3.1.2 计数器(Counter)	15
3.1.3 脉宽调制(PWM)	15
3.2 模拟用户模块	16
3.2.1 可编程增益放大器 PGA	16
3.2.2 电压比较器 CMPPRG	16

3.2.3 二阶低通滤波器 LPF2	16
3.3 通信用户模块	17
3.3.1 SPI	17
3.3.2 I ² C	17
3.4 模数混合用户模块	18
3.4.1 A/D	18
3.4.2 D/A	18
3.4.3 电容感应检测	18
习题	21

第2部分 PSoC 开发环境

第4章 PSoC 开发系统概述	25
4.1 集成开发环境	25
4.1.1 PSoC Designer	25
4.1.2 PSoC Express	25
4.2 PSoC 开发工具	26
4.2.1 CY-DK3215 开发套件	26
4.2.2 MiniPro 编程器	27
习题	27
第5章 编程语言	28
5.1 汇编语言基础	28
5.1.1 内部寄存器和寻址空间	28
5.1.2 指令集	28
5.1.3 指令格式	28
5.1.4 寻址模式	28
5.1.5 伪指令	31
5.2 C 语言基础	32
5.2.1 数据类型	32
5.2.2 操作符	33
5.2.3 表达式	33
5.2.4 语句	33
5.2.5 指针	34
5.2.6 处理指令	34
习题	34
第6章 PSoC Designer	35
6.1 工程创建	36

6.1.1	创建一个新工程	36
6.1.2	复制一个工程	37
6.1.3	创建一个基于设计的工程	37
6.2	设备编辑器子系统	37
6.2.1	选择用户模块	38
6.2.2	放置并配置用户模块	39
6.2.3	用户模块线路互联	42
6.2.4	设计规则检查	46
6.2.5	生成应用程序文件	46
6.3	应用程序编辑器子系统	47
6.3.1	文件系统	48
6.3.2	编辑文件	49
6.3.3	编译/汇编用户应用程序	50
6.4	调试器子系统	50
6.5	编程下载子系统	51
6.6	工程设置	52
	习题	55
第 7 章	PSoC Express	56
7.1	PSoC Express 概述	56
7.1.1	PSoC Express 简介	56
7.1.2	软件设计要素	56
7.2	PSoC Express 集成开发环境	57
7.2.1	开始界面	57
7.2.2	主界面	58
7.2.3	Design 界面	58
7.2.4	Simulation 界面	59
7.2.5	Build 功能	60
7.2.6	BOM/Schematic 界面	60
7.2.7	Program 功能	60
7.3	软件设计要素介绍	61
7.3.1	驱动	61
7.3.2	传输函数	63
7.4	PSoC Express 设计过程概述	66
	习题	66
第 3 部分 实 验		
第 8 章	PSoC 实验平台及实验	69
8.1	PSoC 实验平台简介	69

8.1.1	PSoC 实验平台特点	69
8.1.2	PSoC 实验平台元件布局示意图	69
8.2	演示实验	70
8.2.1	PSoC Designer 演示实验 1 PWM 控制 LED 闪烁	70
8.2.2	PSoC Designer 演示实验 2 电压值测量显示并通过串口传给计算机	73
8.3	PSoC Designer 基本实验	73
8.3.1	可编程增益放大器 PGA	73
8.3.2	电压比较器 CMPPRG	78
8.3.3	低通滤波器 LPF2	80
8.3.4	定时器 Timer8	82
8.3.5	计数器 Counter8 与定时器 Timer8	84
8.3.6	脉宽调制 PWM8	86
8.3.7	增量型模数转换器 ADCINC12	90
8.3.8	增量型数模转换器 DAC6	92
8.4	PSoC Express 基本实验	94
8.4.1	按钮控制 LED 和蜂鸣器	94
8.4.2	四位数码管显示电压值	99
8.4.3	电压值比较	100
8.4.4	按钮控制 LED 状态转换	104
8.4.5	定时器	108
8.5	PSoC Designer 提高实验	110
8.5.1	单路温度测量显示	110
8.5.2	正弦波发生器	110
8.5.3	SPI 通信	111
8.6	PSoC Express 提高实验	115
8.6.1	单路温度监测	115
8.6.2	I ² C 通信	116
8.7	研究型实验	118
8.7.1	安防短信报警系统	118
8.7.2	迷你车载冰箱	119
8.7.3	语音存储回放	120
8.7.4	手写识别笔	120
8.7.5	CapSense 手机短信实验	121
8.7.6	PSoC 实验平台设计发挥实验	121

第 4 部分 PSoC 原理

第 9 章	PSoC 内核	125
9.1	8 位微处理器	126

9.1.1 内部寄存器	126
9.1.2 寄存器	126
9.2 内部存储器	127
9.2.1 SRAM	127
9.2.2 Flash	127
9.2.3 SRAM	127
9.3 中断控制器	128
9.3.1 中断控制器工作原理	128
9.3.2 中断执行过程	129
9.3.3 中断等待时间	130
9.3.4 中断源及其优先级	130
9.4 通用输入输出 GPIO	131
9.4.1 数字 IO 功能	131
9.4.2 全局 IO 功能	132
9.4.3 模拟输入功能	133
9.4.4 GPIO 中断	133
9.5 多时钟源	133
9.5.1 内部主振荡器 IMO	134
9.5.2 内部低速振荡器 ILO	134
9.5.3 外部晶体振荡器 ECO	134
9.5.4 锁相环 PLL	135
9.5.5 多时钟源之间的关系	135
9.6 睡眠和看门狗定时器	136
9.6.1 睡眠	136
9.6.2 看门狗定时器	137
习题	137
第 10 章 PSoC 系统资源	138
10.1 CPU 工作相关资源	138
10.1.1 系统复位	138
10.1.2 低电压监测电路	139
10.1.3 开关式升压泵	139
10.2 可编程阵列相关资源	141
10.2.1 数字时钟	141
10.2.2 内部参考电压	141
10.2.3 模拟多路转换器	141
10.3 通信设备相关资源	144
习题	145

第 11 章 PSoC 可编程系统	146
11.1 数字系统	146
11.1.1 数字系统结构	146
11.1.2 数字模块	146
11.1.3 全局数字互联	149
11.1.4 行数字互联	151
11.2 模拟系统	152
11.2.1 模拟系统结构	152
11.2.2 模拟模块阵列	153
11.2.3 模拟列时钟配置	155
11.2.4 模拟输入配置	155
11.2.5 模拟总线	156
11.2.6 模拟参考电压	159
习题	160
第 12 章 PSoC 其他资源	161
12.1 SRAM	161
12.2 乘法累加器	162
12.3 抽取器	163
12.4 全速 USB 通信接口	165
习题	167
附录 A CY8C29466 及 CY8C21534 部分性能指标	168
附录 B M8C 汇编语言指令集	172
附录 C PSoC Designer C 语言支持的操作符	179
附录 D PSoC 寄存器表	181
参考文献	199

第 1 部分

PSoC 基本结构

本部分的第 1 章为概述,重点介绍 PSoC 的特点、基本结构、应用和开发步骤;第 2 章为 PSoC 结构,以具有代表性的两种 PSoC 芯片 CY8C29466 和 CY8C21534 为例,介绍 PSoC 外部引脚、内部结构、系统功能和性能指标;第 3 章为常用用户模块,介绍 PSoC 能实现的常用用户模块,如可编程增益放大器 PGA、计数器等。

用户模块在其他文献中常称为外部设备。

第1章 PSoC 概述

Cypress 半导体公司于 2003 年推出的 PSoC(Programmable System on Chip)器件是一种可“在系统编程”的片上系统,它将一个 8 位微控制器与可编程数字阵列和模拟阵列集成在一个芯片上,也称为可配置型混合信号阵列。其特点在于既具有 8 位微控制器的处理能力,又具有组成多种可编程数字或模拟用户模块的能力。

本章主要介绍 PSoC 的特点、基本结构、应用和开发步骤。

1.1 PSoC 特点

PSoC 是一种可编程的半导体器件,与现场可编程门阵列 FPGA(Field Programmable Gate Array)和在系统可编程模拟器件 ispPAC(In-System Programmable Analog Circuit)相比,具有如下特点:

(1) PSoC 综合 FPGA 和 ispPAC 的功能为一体,既具有 FPGA 的可编程数字阵列,又具有 ispPAC 的可编程模拟阵列,即具有处理数字和模拟两种信号的能力。此外,PSoC 所具有的 A/D、D/A 用户模块解决了两个阵列的接口问题。

(2) PSoC 有一个 8 位微控制器,因而可以方便地实现系统设计。尽管 FPGA 可以通过设计实现一个软核微控制器或微处理器,但是增加了系统设计的难度。

(3) 与 ispPAC 相同,PSoC 不需要编程器,能够在系统运行过程中编程,以修改和重构电子系统,因而使用灵活方便。

同时,也可将 PSoC 视为一个 8 位微控制器,即 8 位单片机。但与一般单片机不同的是,它几乎不需要外部电路,一片 PSoC 就可实现一个电子系统。而且 PSoC 具有比一般单片机更多的内部资源,如低电压监测电路(Low Voltage Detect, LVD)、开关式升压泵(Switch Mode Pump, SMP)、内部精密参考电压(Internal Voltage Reference)等。另外,PSoC 同时具有片内和片外系统时钟源,可以不需要外部晶体振荡器即可自行工作。

PSoC 的以上特点使其在小型系统设计方面正在得到越来越广泛的应用。