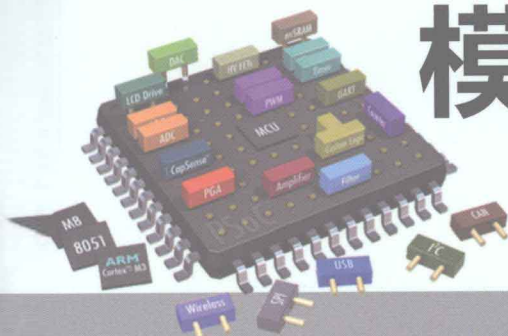




CD-ROM
配光盘
(源程序和课件)

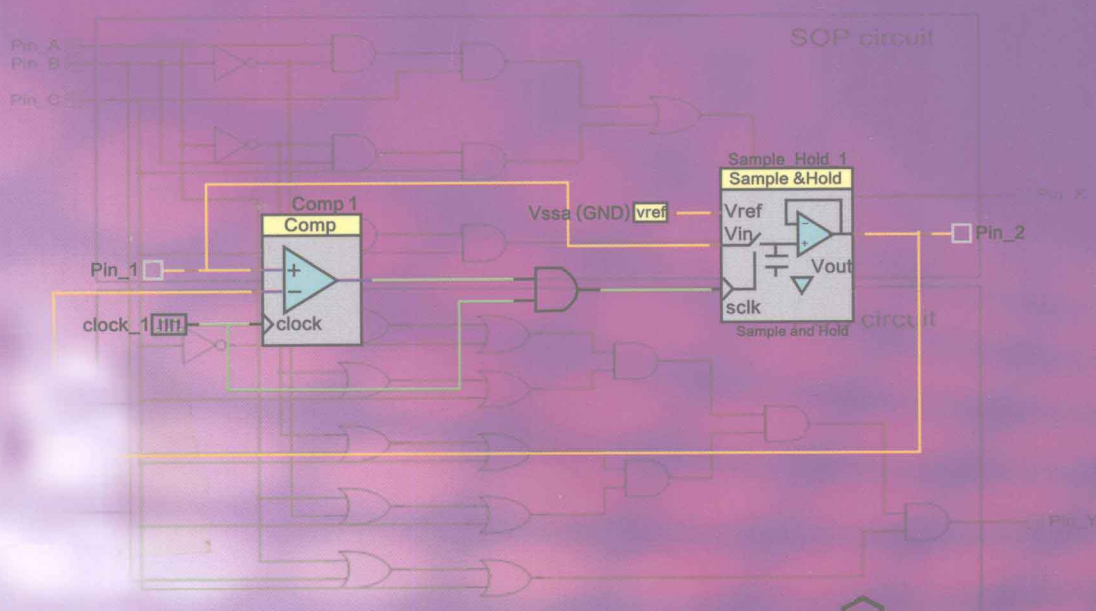
PSoC

模拟与数字电路 设计指南



The Design Guide of
PSoC Analog & Digital Circuit

何 宾 编著

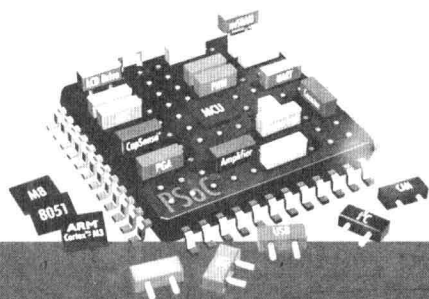


化学工业出版社



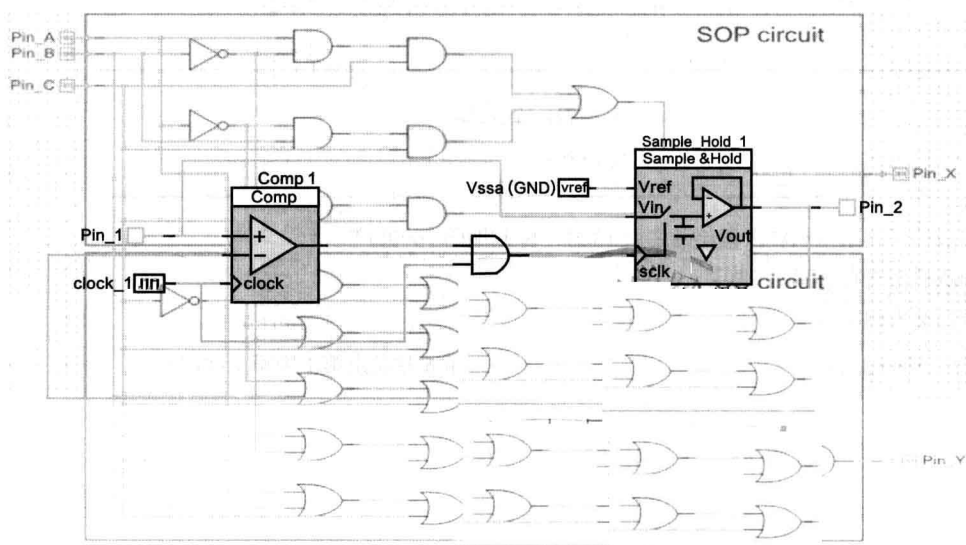
PSoC

模拟与数字电路 设计指南



The Design Guide of PSoC Analog & Digital Circuit

▶▶▶ 何 宾 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

PSoC 模拟与数字电路设计指南 / 何宾编著. —北京: 化学工业出版社, 2012.6

(PSoC 设计指南系列)

ISBN 978-7-122-13917-7

I. P… II. 何… III. ①现场可编程门阵列-系统设计-指南②模拟电路-指南③数字电路-指南 IV. ①TP331.2-62②TN710-62③TN79-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 059182 号

责任编辑: 宋 辉

文字编辑: 余纪军

责任校对: 宋 玮

装帧设计: 韩 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 15 $\frac{3}{4}$

字数 382 千字

2012 年 6 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686)

售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 59.00 元

版权所有 违者必究



前言

PSoC 模拟与数字电路设计指南

作为全球知名的半导体公司,美国 Cypress 公司率先在业界实现了完全意义上的 PSoC 解决方案,即在单芯片上实现了 MCU、数字和模拟系统的高度集成。由于将模拟和数字系统集成在单个芯片内,使得设计更加灵活方便,同时大大节省了设计成本,减少了设计开销,顺应了电子技术未来发展的潮流。

PSoC 内集成了大量的模拟和数字设计模块。模拟模块主要包括开关电容/连续时间 SC/CT 模块、模拟比较器、通用运算放大器、LCD 直接驱动、电容感应触摸、温度传感、数字到模拟转换器 DAC、高精度参考源、模拟到数字转换器 ADC 等。数字模块主要包括通用数字块 UDB、CAN 总线、USB 总线、定时器和计数器、I²C 总线、数字滤波器 DFB 等。如果设计者能熟练灵活地使用这些模块,将使得所设计的系统能满足绝大多数的低端和中端应用要求。

本书全面系统地介绍了 Cypress 公司的 PSoC3 可编程片上系统的基本模拟模块和数字模块的应用。在介绍模拟电路和数字电路设计部分时,使用 Cypress 公司最新的 PSoC Creator 2.0 软件进行设计。本书主要针对国内模拟电子技术和数字电路教学的要求,通过 PSoC 的通用平台,以满足不同专业和不同层次学生的要求,使他们能在这个充满创意的平台上,不仅掌握基本的模拟和数字电路的理论和实现方法,而且加强系统级的设计能力。

为了让读者更好地掌握相关内容,本书给出了大量的设计实例,这些设计实例使用了 PSoC 内基本的模拟资源和数字逻辑资源。通过这些例子的学习,一方面帮助读者理解并掌握模拟电子技术和数字电子技术的理论知识,另一方面提高读者使用理论知识解决实际问题的能力。值得一提的是,由于 PSoC Creator 2.0 软件采用的是原理图设计的方法,读者在学习这些例子的过程中,也可以系统地学习绘制电路原理图的方法,这些方法适用于绝大多数的电路图绘制软件。为了便于读者的自学,随书配送光盘,光盘中包含本书所有的设计实例。本书不仅可以作为大学模拟电子技术和数字电路相关课程的教学用书,也可以作为从事相关领域教学和科研工作者的参考用书。

在讲授和学习本书内容时,可以根据教学时数和内容的侧重点不同,适当地将相关章节的内容进行调整和删减。

本书参考了 Cypress 公司最新的研究成果、设计文档等资料。本书主要由何宾编著,王纲领负责模拟部分例子的编写,彭渤负责数字部分例子的编写,北京交通大学电子信息工程学院的研究生杨光伟负责本书所有设计例子的验证,Cypress 公司中国区大学计划经理魏荣博士,为我们提供了有关数据、技术参考资料和 PSoC3 硬件开发平台资源,Cypress 公司的技术工程师为本书编写过程中遇到的问题进行了耐心地解答,在此表示感谢。特向 Cypress 公司表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中难免有疏漏之处,敬请读者批评指正。

编著者

目 录

PSoC 模拟与数字电路设计指南



上篇

模拟电路设计部分

1 简单运算放大器的应用	3
1.1 PSoC 芯片内通用放大器工作原理	3
1.2 电压跟随器的设计与实现	4
1.2.1 电压跟随器电路的硬件设计	4
1.2.2 添加软件控制代码	7
1.2.3 引脚分配	9
1.2.4 设计下载与测试	9
思考题	9
2 同相放大器的设计及实现	10
2.1 同相模拟增益放大器的设计及实现	10
2.1.1 同相模拟增益放大器的原理	10
2.1.2 同相模拟增益放大器电路的设计	11
2.1.3 添加软件控制代码	12
2.1.4 引脚分配	12
2.1.5 设计下载与测试	13
2.2 同相程控增益放大器的设计及实现	13
2.2.1 同相程控增益放大器的原理	13
2.2.2 同相程控增益放大器电路的设计	14
2.2.3 添加软件控制代码	15
2.2.4 引脚分配	15
2.2.5 设计下载与测试	15
思考题	16
3 反相放大器的设计及实现	17
3.1 反相模拟增益放大器的设计及实现	17

3.1.1	反相模拟增益放大器的原理	17
3.1.2	反相模拟增益放大器电路的设计	18
3.1.3	添加软件控制代码	19
3.1.4	引脚分配	19
3.1.5	设计下载与测试	20
3.2	反相程控增益放大器的设计及实现	20
3.2.1	反相程控增益放大器的原理	20
3.2.2	反相程控增益放大器电路的设计	21
3.2.3	添加软件控制代码	22
3.2.4	引脚分配	22
3.2.5	设计下载与测试	22
3.3	加法器的设计及实现	23
3.3.1	加法器的原理	23
3.3.2	加法器电路的设计	24
3.3.3	添加软件控制代码	25
3.3.4	引脚分配	25
3.3.5	设计下载与测试	26
3.4	减法器的设计及实现	26
3.4.1	减法器的原理	26
3.4.2	减法器电路的设计	27
3.4.3	添加软件控制代码	29
3.4.4	引脚分配	29
3.4.5	设计下载与测试	29
3.5	电流-电压转换器的设计及实现	30
3.5.1	电流-电压转换器原理	30
3.5.2	电流-电压转换电路的设计	30
3.5.3	添加软件控制代码	33
3.5.4	引脚分配	33
3.5.5	设计下载与验证	33
	思考题	34

4 仪表放大器的设计及实现 35

4.1	仪表放大器的设计原理	35
4.2	仪表放大器电路的设计	36
4.3	添加软件控制代码	37
4.4	引脚分配	38
4.5	设计下载与测试	38
	思考题	39

5	积分器和微分器的设计及实现	40
5.1	积分器电路的设计及实现	40
5.1.1	积分器的原理	40
5.1.2	积分器电路的设计	41
5.1.3	添加软件控制代码	42
5.1.4	引脚分配	42
5.1.5	设计下载与测试	42
5.2	微分器电路的设计及实现	43
5.2.1	微分器的原理	43
5.2.2	微分器电路的设计	43
5.2.3	添加软件控制代码	44
5.2.4	引脚分配	45
5.2.5	设计下载与测试	45
	思考题	46
6	一阶有源滤波器的设计及实现	47
6.1	一阶有源低通滤波器的设计及实现	47
6.1.1	一阶同相有源低通滤波器的设计及实现	47
6.1.2	一阶反相有源低通滤波器的设计及实现	50
6.2	一阶有源高通滤波器的设计及实现	54
6.2.1	一阶同相有源高通滤波器的设计及实现	54
6.2.2	一阶反相有源高通滤波器的设计及实现	57
	思考题	61
7	二阶有源滤波器的设计及实现	62
7.1	二阶有源低通滤波器的设计及实现	62
7.1.1	二阶有源低通滤波器的实现原理	62
7.1.2	二阶有源低通滤波器电路的设计	63
7.1.3	添加软件控制代码	64
7.1.4	引脚分配	64
7.1.5	设计下载与测试	65
7.2	二阶有源高通滤波器的设计及实现	65
7.2.1	二阶有源高通滤波器的实现原理	65
7.2.2	二阶有源高通滤波器电路的设计	66
7.2.3	添加软件控制代码	67
7.2.4	引脚分配	68
7.2.5	设计下载与测试	68

思考题	68
8 基于非线性元件的电路设计及实现	70
8.1 基于混频器的峰值检测电路设计及实现	70
8.1.1 基于混频器的峰值检测原理	70
8.1.2 基于混频器的峰值检测电路的设计	71
8.1.3 添加软件控制代码	72
8.1.4 引脚分配	73
8.1.5 设计下载与测试	73
8.2 基于采样保持器的峰值检测电路的设计及实现	74
8.2.1 基于采样保持器的峰值检测原理	74
8.2.2 基于采样保持器的峰值检测电路的设计	74
8.2.3 添加软件控制代码	75
8.2.4 引脚分配	76
8.2.5 设计下载与测试	76
8.3 精密整流电路的设计及实现	77
8.3.1 精密整流实现原理	77
8.3.2 精密整流电路的设计	77
8.3.3 添加软件控制代码	79
8.3.4 引脚分配	79
8.3.5 设计下载与测试	80
思考题	80
9 波形发生器的设计及实现	82
9.1 正弦波发生器设计及实现	82
9.1.1 正弦波发生器实现原理	82
9.1.2 正弦波发生器电路设计	83
9.1.3 添加软件控制代码	84
9.1.4 引脚分配	84
9.1.5 设计下载与验证	85
9.2 方波发生器设计及实现	85
9.2.1 方波发生器实现原理	85
9.2.2 方波发生器电路设计	86
9.2.3 添加软件控制代码	87
9.2.4 引脚分配	88
9.2.5 设计下载与验证	88
9.3 三角波发生器设计及实现	88
9.3.1 三角波发生器实现原理	88
9.3.2 三角波发生器电路设计	89

9.3.3 添加软件控制代码	90
9.3.4 引脚分配	91
9.3.5 设计下载与验证	91
思考题	91



下篇

数字电路设计部分

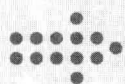
1 SIO 特性测试及其应用	95
1.1 SIO 性能测试及实现	95
1.1.1 SIO 原理	95
1.1.2 SIO 测试电路设计	96
1.1.3 引脚分配	100
1.1.4 设计下载与测试	101
1.2 充电泵测试电路设计及实现	101
1.2.1 充电泵测试电路实现原理	101
1.2.2 充电泵测试电路设计	102
1.2.3 引脚分配	105
1.2.4 设计下载与测试	105
思考题	106
2 逻辑表达式及最小化实现	107
2.1 POS 和 SOP 表达式的实现	107
2.1.1 POS 和 SOP 表达式实现原理	107
2.1.2 POS 和 SOP 逻辑电路的设计	108
2.1.3 引脚分配	111
2.1.4 设计下载与测试	112
2.2 逻辑表达式的化简及实现	112
2.2.1 逻辑表达式的化简	112
2.2.2 最小表达式逻辑电路的设计	112
2.2.3 引脚分配	115
2.2.4 设计下载与测试	115
思考题	115
3 编码器和译码器的设计及实现	116
3.1 8-3 编码器的设计及实现	116

3.1.1	8-3 编码器的实现原理	116
3.1.2	8-3 编码器逻辑电路的设计	117
3.1.3	设计下载与测试	122
3.2	3-8 译码器的设计及实现	123
3.2.1	3-8 译码器的实现原理	123
3.2.2	3-8 译码器逻辑电路的设计	124
3.2.3	设计下载与测试	126
	思考题	127
4	码转换的设计及实现	128
4.1	二进制码到七段码转换的设计及实现	128
4.1.1	七段数码管实现原理	128
4.1.2	二进制码到七段码转换逻辑电路的设计	130
4.1.3	设计下载与测试	134
4.2	二进制码到 Gray 码转换的设计及实现	135
4.2.1	Gray 码实现原理	135
4.2.2	二进制码到 Gray 码转换逻辑电路的设计	135
4.2.3	设计下载与测试	138
	思考题	138
5	多路复用器的设计及实现	139
5.1	多路复用器的实现原理	139
5.1.1	2-1 多路复用器的实现原理	139
5.1.2	4-1 多路复用器的实现原理	139
5.2	多路复用器逻辑电路的设计	140
5.2.1	2-1 多路复用器 IP 核的设计	140
5.2.2	4-1 多路复用器 IP 核的设计	141
5.2.3	调用多用复用器 IP 核实现设计	142
5.2.4	引脚分配	143
5.3	设计下载与测试	144
	思考题	144
6	多位数字比较器的设计及实现	145
6.1	比较器的实现原理	145
6.1.1	一位比较器的实现原理	145
6.1.2	多位比较器的实现原理	146
6.2	比较器逻辑电路的设计	147

6.2.1	一位比较器逻辑电路的设计	147
6.2.2	多位比较器逻辑电路的设计	148
6.2.3	调用多位比较器 IP 核实现设计	149
6.2.4	引脚分配	150
6.3	设计下载与测试	151
	思考题	151
7	算术运算单元的设计及实现	152
7.1	加法器的设计及实现	152
7.1.1	加法器的实现原理	152
7.1.2	加法器逻辑电路的设计	154
7.1.3	设计下载与测试	159
7.2	减法器的设计及实现	159
7.2.1	减法器的实现原理	159
7.2.2	减法器逻辑电路的设计	160
7.2.3	设计下载与测试	165
7.3	加法/减法器的设计与实现	165
7.3.1	一位加法器/减法器的实现原理	165
7.3.2	多位加法器/减法器的实现原理	166
7.3.3	加法器/减法器逻辑电路的设计	167
7.3.4	设计下载与测试	171
7.4	乘法器的设计与实现	171
7.4.1	乘法器的实现原理	171
7.4.2	乘法器逻辑电路的实现	173
7.4.3	设计下载与测试	176
	思考题	176
8	锁存器和触发器的设计及实现	178
8.1	基本 SR 锁存器的设计及实现	178
8.1.1	基本 SR 锁存器实现原理	178
8.1.2	基本 SR 锁存器逻辑电路的设计	179
8.1.3	设计下载与测试	181
8.2	同步 SR 锁存器的设计及实现	181
8.2.1	同步 SR 锁存器实现原理	181
8.2.2	同步 SR 锁存器逻辑电路设计	181
8.2.3	设计下载与测试	183
8.3	D 锁存器的设计及实现	183
8.3.1	D 锁存器实现原理	183

8.3.2	D 锁存器逻辑电路的设计	183
8.3.3	设计下载与测试	186
8.4	基本 D 触发器的设计及实现	186
8.4.1	基本 D 触发器实现原理	186
8.4.2	基本 D 触发器逻辑电路设计	187
8.4.3	设计下载与测试	189
8.5	带置位/复位 D 触发器的设计及实现	189
8.5.1	带置位/复位 D 触发器实现原理	189
8.5.2	带置位/复位 D 触发器逻辑电路设计	190
8.5.3	设计下载与测试	192
	思考题	193
9	寄存器的设计及实现	194
9.1	普通寄存器的设计及实现	194
9.1.1	普通寄存器的实现原理	194
9.1.2	普通寄存器逻辑电路的设计	195
9.1.3	设计下载与测试	198
9.2	移位寄存器的设计及实现	199
9.2.1	移位寄存器的实现原理	199
9.2.2	移位寄存器逻辑电路的设计	199
9.2.3	设计下载与测试	202
	思考题	202
10	有限自动状态机的设计及实现	203
10.1	有限自动状态机的实现原理	203
10.2	有限自动状态机逻辑电路的设计	206
10.2.1	FSM 逻辑电路 IP 核的设计	206
10.2.2	调用 FSM IP 核完成完整的设计	209
10.2.3	引脚分配	211
10.3	设计下载与测试	212
	思考题	212
11	计数器的设计及实现	213
11.1	计数器的实现原理	213
11.2	计数器逻辑电路的设计	214
11.2.1	三位计数器 IP 核的设计	214
11.2.2	调用三位计数器 IP 核完成设计	215

11.2.3 引脚分配	216
11.3 设计下载与测试	216
思考题	217
12 基于查找表的数字系统的设计及实现	218
12.1 查找表实现原理	218
12.2 基于查找表的数字系统电路设计	220
12.2.1 基于查找表的四位计数器的 IP 核设计	220
12.2.2 调用四位计数器的 IP 核实现设计	223
12.2.3 引脚分配	224
12.3 设计下载与测试	224
思考题	225
13 多谐振荡器的设计及实现	226
13.1 多谐振荡器实现原理	226
13.2 多谐振荡器电路设计	226
13.3 引脚分配	227
13.4 设计下载与测试	228
思考题	228
14 复杂数字系统的高层次描述及实现	229
14.1 数字系统高层次描述概述	229
14.2 基于高层次描述的交通灯控制实现原理	229
14.3 交通灯控制电路的设计	230
14.4 引脚分配	235
14.5 设计下载与测试	235
思考题	235
附录 数字和模拟电路混合设计的实现	236
1. 数字-模拟转换器的实现	236
2. 模拟-数字转换器的实现	237



上篇

模拟电路设计部分

简单运算放大器的应用

本章介绍了简单运算放大器应用及实现。内容主要包括 PSoC 芯片内通用放大器的工作原理和电压跟随器电路的设计与实现。本章内容主要是熟悉 PSoC Creator 2.0 软件的使用和 PSoC3/5 芯片内模拟器件的基本使用方法，为学习后续内容打下基础。

1.1 PSoC 芯片内通用放大器工作原理

PSoC 内部提供了通用运算放大器资源。由于 PSoC 芯片本身是单电源供电，因此 PSoC 内部的运算放大器也是单电源供电。单电源供电放大器和双电源供电放大器是有区别的。一个双电源供电的运算放大器的双电源是由一个正电源和一个相等电压的负电源组成。通常的双电源有 $\pm 15\text{V}$ 、 $\pm 12\text{V}$ 和 $\pm 5\text{V}$ [在双电源供电的运算放大器上经常以 V_{CC+} 和 V_{CC-} 标识，如图 1.1 (a) 所示]。

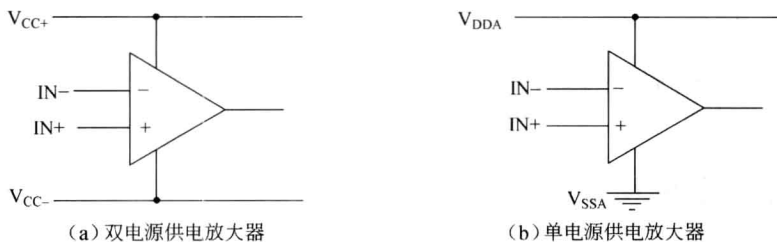


图 1.1 双电源和单电源运算放大器

单电源供电的运算放大器的电源脚连接到 V_{DDA} 和 V_{SSA} ，如图 1.1 (b) 所示。注意：

- V_{DDA} ：为 PSoC 模拟外设和模拟内核管理器供电的电压。
- V_{SSA} ：为 PSoC 模拟外设的地。

为了使单电源供电的放大器正常工作，通常需要给放大器施加合适的直流偏置。直流偏置电压通常为 $V_{DDA}/2$ 。PSoC 内部的通用放大器的输入电压范围：最小为 V_{SSA} ，最大为 V_{DDA} 。

PSoC3/5 器件内包含最多 4 个通用的运算放大器。图 1.2 给出了通用运算放大器的接口图。这些通用的运算放大器可以配置成增益级、电压跟随器、或者外部/内

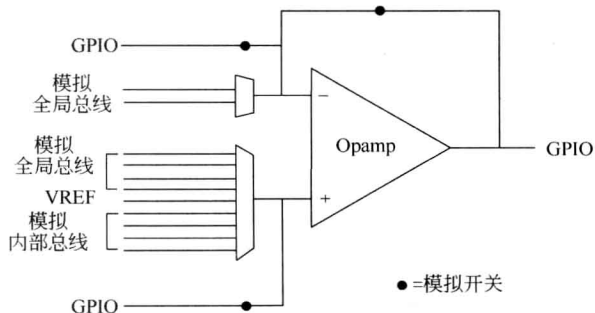


图 1.2 PSoC 内部通用放大器的结构

部信号的输出缓冲区。

如图 1.3 所示,在任何一种配置中,输入和输出信号都能连接到内部全局总线中,并可以使用 ADC 或者比较器进行监控。通过使用这些信号和 GPIO 引脚之间的模拟开关的切换来实现这些配置。

通用放大器有三种速度模式:低、中和快。低模式有最小的静态功耗,快模式有最大的功耗。输入能轨至轨的摆动。在低电流输出下,输出电压值在 $V_{SSA}+50\text{ mV} \leq V_{out} \leq V_{DDA}-50\text{ mV}$ 范围内摆动。当驱动高电流负载(大约 25mA)时,输出电压值在 $V_{SSA}+500\text{ mV} \leq V_{out} \leq V_{DDA}-500\text{ mV}$ 范围内摆动。

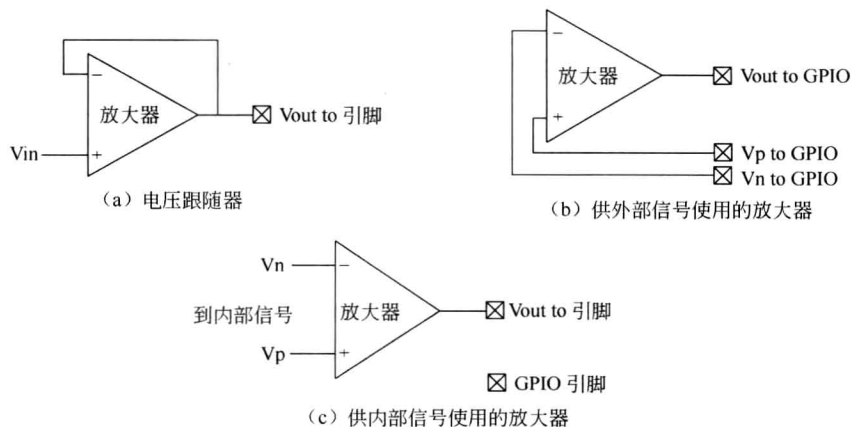


图 1.3 通用放大器的不同配置

1.2 电压跟随器的设计与实现

1.2.1 电压跟随器电路的硬件设计

前面一节给出了通用放大器的原理和不同的配置,本节将通过 PSoC Creator 提供的通用放大器 IP 核实现电压跟随器。

下面将给出实现电压跟随器的步骤,其步骤主要包括以下几点。

(1) 打开 PSoC Creator2.0 软件,在主界面主菜单下,选择 File->New->Project..., 弹出如图 1.4 所示的界面,选择 Design 标签。在 Design 标签下,选择 Empty PSoC3 Design 类型。在 Location 右边输入该设计的路径,在 Name 右边给出该设计的工程名字 follower, 然后点击“OK”按钮。

(2) 如图 1.5 所示,在 Workspace Explorer 界面中,选择 Source 标签,在该窗口下,选择 TopDesign.cysch, 鼠标双击该条目,打开原理图界面。

(3) 如图 1.6 所示,在主界面右侧“Component Catalog”窗口中,选择 Cypress 标签栏,并展开 Analog。在展开条目中,找到 Amplifiers 子条目,并展开。可以看到在这个子条目下,提供了 Inverting PGA、Opamp、PGA 和 TIA 等模拟设计资源。

(4) 将图 1.6 中所给出的通用放大器 Opamp 器件符号用鼠标拖到图 1.6 左侧原理图设计