



**单片机** 应用技术系列

# 实用低功耗设计

## ——原理、器件与应用

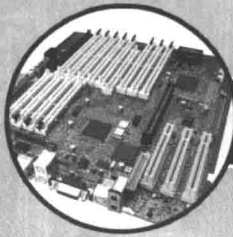
● 吴少军 刘光斌 编著



3.11

人民邮电出版社  
POSTS & TELECOMMUNICATIONS PRESS

TP368.11  
W545



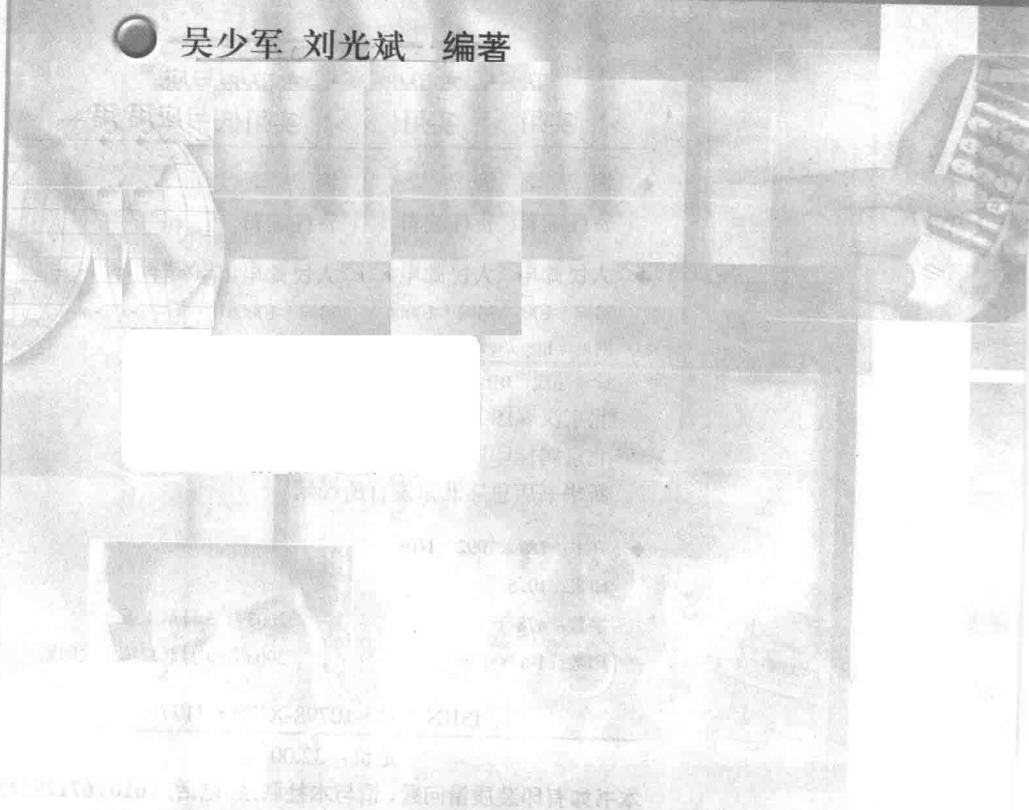
# 单片机

应用技术系列

# 实用低功耗设计

## ——原理、器件与应用

● 吴少军 刘光斌 编著



H550/02

人民邮电出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

实用低功耗设计——原理、器件与应用/吴少军、刘光斌编著.

(单片机应用技术系列)

—北京:人民邮电出版社,2003.3

ISBN 7-115-10798-X

I. 实... II. ①吴... ②刘... III. 单片微型计算机—电路设计 IV. TP368.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 010076 号

### 内容提要

本书从实用角度出发,全面、深入地阐述了低功耗电路设计的原理、常用器件、应用电路、应用技巧及其构成的典型低功耗系统。

全书主要内容包括:低功耗电路设计的基本原则,经典及新型低功耗电源器件及应用,低功耗接口器件及应用,低功耗单片机、存储器、监控器及应用,新颖、热门低功耗集成电路及应用,实用低功耗电路设计技巧,部分典型低电压、低功耗系统设计举例。附录还给出了部分国内外主要 IC 厂家的特色产品及相应网站,便于用户查阅检索。

本书内容丰富、实用性强,可供从事系统设计、开发和维修的广大科技人员阅读,或作为大专院校电子、自动化及计算机应用等相关专业的参考书和各种电子竞赛活动的培训资料。

单片机应用技术系列

### 实用低功耗设计——原理、器件与应用

◆ 编 著 吴少军 刘光斌

责任编辑 屈艳莲

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

读者热线 010-67132692

北京汉魂图文设计有限公司制作

北京鸿佳印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 19.5

字数: 478 千字

2003 年 3 月第 1 版

印数: 1-5 000 册

2003 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-10798-X/TP · 3177

定价: 32.00 元

本书如有印装质量问题,请与本社联系 电话:(010)67129223



# 前 言

“绿色”、“环保”、“节能”等词汇越来越频繁地出现在我们的生活中，“低功耗”、“低功耗”乃至“零功耗”设计成为现今电子行业的热门话题。很多领域对产品的功耗、辐射方面的技术指标提出了越来越严格的要求，因此低功耗设计技术已经成为众多厂家竞争的新领域，例如目前竞争激烈的手机、PDA、笔记本电脑等产品，待机时间的长短已经成为用户选择产品的重要指标之一。低功耗产品的推出为仪器仪表、便携产品、高档家电、智能玩具等产品的升级换代及进一步发展注入了新的活力。

本书编者多年来一直从事测控系统、便携式产品、嵌入式产品等方面的研究开发工作，积累了大量低功耗设计方面的经验与资料。现将我们多年来教学与科研的经验、资料加以系统总结，并参考了大量国内外最新发表的文章及各大公司最新 IC 资料后写成此书，以满足广大读者的需求。

本书从实用角度出发，全面、深入地阐述了低功耗电路设计的原理、常用器件、应用电路、应用技巧及其构成的典型低功耗系统。主要内容包括：低功耗电路设计的基本原则，经典及新型低功耗电源器件及应用，低功耗接口器件及应用，低功耗单片机、存储器、监控器及应用，新颖、热门低功耗集成电路及应用，实用低功耗电路设计技巧，部分典型低电压、低功耗系统设计举例。附录中还介绍了部分国内外主要 IC 厂家的产品特点及相应网站，便于用户检索、查阅。

本书具有非常鲜明的特色：题材新颖——紧跟当今倡导“绿色产品”、“低电压、低功耗”及便携的设计需要；内容丰富——包含了大量的低功耗器件及应用电路，许多是刚刚推出的新型器件；图文并茂——每个器件给出了相应的管脚图、性能参数及典型应用电路，读者参考时一目了然；简单实用——介绍了许多从实践经验得来的非常实用的应用电路，非一般资料所能查到。所介绍的低功耗器件同时考虑了低功耗、低电压、低成本、易购买等因素，大多数电路可直接或稍加改动即可应用到自己的系统中，具有普遍性。

本书的主要作者有吴少军、刘光斌、王仕成、钱培贤，参加写作的还有王雪梅、褚正奎、李四清、张毅、王忠、邓方林、汪立新、张维平、陆小勇、余志勇、姚志成、李忠义、刘伟、刘东、姜立强、王建宏、江庆平、师林、吕亚平、彭春平、范小虎、蔡辉、李尚华、冯敏等同志。同时，对在本书编写过程中参考的有关资料的作者，在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，加之一些新器件、新技术刚刚出现，书中难免存在疏漏与错误之处，敬请读者批评指正，不胜感激。如有问题、意见、建议和相关的讨论，可以通过以下地址联系：E-mail: wsj100@eyou.com 或 quyanlian2@ptpress.com.cn。

编 者

2002 年 12 月

# 目 录

第 1 章 低功耗电路设计概述 .....	1
1.1 低功耗设计的必要性 .....	1
1.2 从 TTL 电路到 CMOS 电路 .....	3
1.3 电子产品低功耗设计的基本原则 .....	4
1.3.1 系统方案的拟定 .....	5
1.3.2 电路设计及元器件的选取 .....	5
1.3.3 软件设计 .....	7
第 2 章 低功耗电源器件及电路设计 .....	8
2.1 电子产品中常用的几种电源 .....	8
2.2 部分经典电压基准/稳压电路 .....	9
2.2.1 著名 IC 公司的基准电压源性能参数表 .....	9
2.2.2 微功耗基准电压源 LM385 .....	14
2.2.3 低电压、低功耗基准电压源 ICL8069 .....	15
2.2.4 微功耗基准电压源 TC04/TC05 .....	16
2.2.5 可调式基准电压源 LM336 .....	17
2.3 新型低功耗电压基准/稳压电路 .....	19
2.3.1 部分新型低功耗电压基准/稳压电路性能参数表 .....	19
2.3.2 微功耗 1.2V 电压基准 MAX6120 .....	20
2.3.3 微型微功耗 5V 稳压器 LTC1754-5 .....	20
2.3.4 微功耗、低压差基准电压源 MAX872/874 .....	22
2.3.5 低功耗、小封装的高精度稳压器 S-81X 系列 .....	23
2.3.6 低功耗、高精度稳压器/调节器 TC45/TC47/TC55 .....	25
2.3.7 低功耗、微型三端稳压器 XC62AP .....	27
2.3.8 适用多种电池组供电的稳压器 AH800 系列 .....	28
2.3.9 微功耗、低压差稳压器 BAW03/05 .....	29
2.3.10 高精度、微功耗电压参考基准 LM4040 / 4041 .....	29
2.4 升压式低功耗 DC/DC 电路 .....	31
2.4.1 部分升压式 DC/DC 电路性能参数表 .....	31
2.4.2 用 MAX630 设计简单实用的 DC/DC 变换器 .....	32
2.4.3 微功耗升压型 DC/DC 变换器 ME301 .....	33
2.4.4 高效率、低功耗升压型 DC/DC 电路 MAX1674 系列 .....	34
2.5 降压式低功耗 DC/DC 电路 .....	37
2.5.1 部分降压式 DC/DC 电路性能参数表 .....	37
2.5.2 低功耗、高效率 DC/DC 降压器 MAX639/640/653 .....	37

2.5.3	新型高效率、降压式充电泵 TPS60500 系列	40
2.5.4	高效率、大电流输出的降压式 DC/DC 控制器 NCP1550	43
2.6	反转/倍压式低功耗 DC/DC 电路	45
2.6.1	部分反转/倍压式 DC/DC 电路性能参数表	45
2.6.2	小功率极性反转式变换器 ICL7660/7662	46
2.6.3	同时输出正、负双电源的倍压变换器 MAX680	50
2.6.4	小型电荷泵反转倍压器 TC268X 系列	52
2.6.5	大输出电流的电压反转/倍压电路 MAX860	53
2.6.6	低压、低功耗电荷泵反转/倍压器 TC1682	53
2.6.7	小型、微功耗电压反转变换器 AIC1652	54
2.7	低压差 (LDO) 线性稳压电路	56
2.7.1	部分低压差 (LDO) 线性稳压器性能参数表	56
2.7.2	传统的普通三端集成稳压器简介	56
2.7.3	低漏失、可控制的电压稳压器 KAX78R 系列	57
2.7.4	超低工作电流线性稳压器 MAX1725/1726	58
2.7.5	低压差、低功耗线性稳压器 MAX603/604	60
2.7.6	小尺寸、低功耗线性稳压器 MIC5213	61
2.7.7	新型低压差、负压线性稳压器 MAX1735	62
2.7.8	小尺寸、低压差稳压集成电路 ME2980	63
<b>第 3 章</b>	<b>特殊低功耗电源</b>	<b>65</b>
3.1	几种特殊型 DC/DC 变换电路	65
3.1.1	DCP 系列小型化、隔离型 DC/DC 变换器	65
3.1.2	可升/降压的 DC/DC 变换电路 MC34063	67
3.1.3	具有电压监测功能的 HT73 系列稳压器	68
3.2	小功率集成 AC/DC 变换电路	69
3.2.1	部分小功率集成 AC/DC 变换电路性能参数表	69
3.2.2	新型 AC/DC 变换电路 MAX610 系列	70
3.2.3	AC/DC 电源变换模块 PS0500-5 系列	75
3.2.4	高压型三端可调 AC/DC 线性稳压器 HIP5600	77
3.2.5	新型高压 AC/DC 变换电路 HV-2405E	78
3.2.6	无需输入电容器的 AC/DC 高压稳压器 VB409 / 409SP	80
3.3	用普通器件构成的简单-双电源变换电路	82
3.3.1	利用变压器直接获得简单正、负双电源	82
3.3.2	利用运算放大器构成的正、负基准电压源	82
3.3.3	无变压器的直流-直流正、负双电源变换器	83
3.3.4	简单电源转化为双电源电路 3 例	84
3.3.5	改进的单电源转换为双电源电路 2 例	84
3.3.6	利用普通 IC 将单电源转换为双电源 2 例	85
3.4	用普通器件构成的简单升压电路	86
3.4.1	简单的由 3V 升到 9V 的转换电路	86

3.4.2	由六反相器构成的由 5V 升到 12V 的转换电路	86
3.4.3	简易的由 1.5V 升到 9V 的电源升压电路	87
3.4.4	简易的由 1.5V 升到 9~22V 的电源升压电路	88
3.4.5	简单实用的 1.5V 直流升压电路	88
3.4.6	无需变压器的超低压直流升压电路	89
3.5	几种常用的电源变换电路	89
3.5.1	将 5V 电源变为 3.0V 或 3.3V 电源	89
3.5.2	直接从交流电获取简易直流稳压电源	90
3.5.3	交流-直流供电系统的电源转换方法	92
<b>第 4 章</b>	<b>低功耗接口器件及电路设计</b>	<b>94</b>
4.1	低功耗 A/D 转换电路	94
4.1.1	部分低功耗 A/D 转换电路性能参数表	94
4.1.2	单电源低功耗 8 位串行 ADC 电路 MAX1108/1109	95
4.1.3	低功耗串行 A/D 转换器 ADS7822	98
4.1.4	新型低功耗、串行温度采集电路 TMP100/101	100
4.2	低功耗 D/A 转换电路	104
4.2.1	部分低功耗 D/A 转换电路性能参数表	104
4.2.2	低功耗高速串行 8 位 D/A 转换电路 AD5300	104
4.2.3	超低功耗 12 位 D/A 转换电路 MAX530	107
4.3	低功耗运算放大器电路	110
4.3.1	运算放大器概述及部分低功耗放大器性能参数表	110
4.3.2	低功耗高精度运算放大器 OP97	112
4.3.3	超低功耗 CMOS 运算放大器 MAX406	113
4.3.4	低压、低功耗运算放大器 CA3078/3078A	115
4.3.5	可满幅输出的低功耗运算放大器 MAX4040 系列	117
4.4	低功耗电压比较器	118
4.4.1	部分低功耗电压比较器性能参数表	118
4.4.2	可在 1V 电压工作的低功耗电压比较器 MAX9100/9101	118
4.4.3	低压、低功耗电压比较器 LMV7251/7255	119
4.4.4	超低功耗、双向电压比较器 MIC833	120
4.5	低功耗实时时钟 (RTC) 电路	121
4.5.1	实时时钟 (RTC) 电路概述	121
4.5.2	带 EEPROM 及 CPU 监控器的时钟芯片 X1228	122
4.5.3	HOLTEK 公司的低功耗串行时钟芯片 HT1380	127
4.5.4	DALLAS 公司的低功耗串行时钟芯片 DS1302	132
4.6	低功耗可编程逻辑器件 PLD	139
4.6.1	低功耗 PAL 器件简介	139
4.6.2	低功耗 PAL 电路设计方法	140
4.6.3	新型高密度、低功耗的 CPLD 和 FPGA	141
4.6.4	低功耗 CPLD 和 FPGA 设计方法	142

<b>第 5 章 低功耗单片机/存储器/监控器及电路设计</b> .....	145
5.1 低功耗单片机系统设计原则.....	145
5.1.1 单片机电路设计原则.....	145
5.1.2 存储器电路设计原则.....	147
5.1.3 供电管理原则.....	148
5.1.4 软件设计原则.....	148
5.2 低功耗、高性价比的 EPSON 4 位系列单片机.....	149
5.2.1 EPSON 4 位系列单片机的特点.....	149
5.2.2 EPSON 4 位系列单片机简介.....	150
5.2.3 E0C62 系列单片机的应用.....	151
5.3 义隆公司的 EMP 系列低功耗单片机.....	151
5.3.1 义隆公司的 8 位系列单片机.....	152
5.3.2 8 位单片机 EMP78P153 简介.....	152
5.3.3 EM78P153 的应用技巧.....	154
5.3.4 EMP78P153 使用注意事项.....	156
5.3.5 EMP78P153 与 PICC508/509 功能对照.....	157
5.4 华邦公司的低功耗单片机与存储器.....	158
5.4.1 华邦公司低功耗 4 位系列单片机.....	158
5.4.2 华邦公司低功耗静态存储器 SRAM.....	159
5.5 超低功耗 16 位单片机 MSP430 系列.....	159
5.5.1 MSP430 系列单片机概述.....	159
5.5.2 MSP430 系列单片机结构与性能参数.....	160
5.5.3 MSP430 系列单片机的低功耗模式.....	162
5.5.4 MSP430 系列单片机的应用.....	164
5.6 PIC 单片机系统的低功耗设计.....	164
5.6.1 PIC 单片机的特点.....	164
5.6.2 基本设计方法.....	165
5.6.3 振荡电路设计.....	166
5.6.4 系统故障分析.....	167
5.7 低功耗存储器电路.....	168
5.7.1 常用存储器的种类与特点.....	168
5.7.2 低电压、低功耗静态存储器 CY62XXX 系列.....	169
5.7.3 HOLTEK 公司的非挥发存储器.....	169
5.7.4 具有掉电保存功能的静态存储器 NVRAM.....	170
5.7.5 新型超低功耗存储器——铁电存储器 FRAM.....	171
5.8 低功耗 MCU 监控电路.....	173
5.8.1 MCU 监控电路概述.....	173
5.8.2 低功耗、低电压电源监控器 MIC2776.....	176
5.8.3 双路低功耗、低电压电源管理芯片 MIC2777.....	179
5.8.4 低功耗精密三电源监控器 LTC1326-2.5.....	181



5.8.5 微功耗、四电压监控器 MAX6338.....	181
<b>第 6 章 几种新颖低功耗器件及电路设计 .....</b>	<b>184</b>
6.1 低功耗通用 I/O 口扩展电路 GM8164 .....	184
6.1.1 主要功能与性能参数 .....	184
6.1.2 引脚排列与功能说明 .....	185
6.1.3 功能表及工作方式 .....	186
6.1.4 典型应用说明 .....	187
6.2 几种新型低电压、低功耗定时器电路 .....	189
6.2.1 微功耗定时器电路 ICM7555/XRL555 .....	189
6.2.2 新型 1.5V 低电压定时器电路 LMC555 .....	191
6.2.3 高精度专用定时器电路 TEC8445 .....	191
6.3 ISD 系列低功耗语音录放电路及其应用 .....	193
6.3.1 主要性能特点 .....	193
6.3.2 单片 20 秒语音录放电路 ISD1420.....	194
6.3.3 单片 60~120 秒语音录放电路 ISD2500.....	196
6.3.4 单片 4~16 分钟语音录放电路 ISD4004.....	199
6.3.5 分段灵活的 60 秒语音录放电路 APR9600 .....	203
6.4 低功耗语音识别电路 AP7003 及其应用 .....	207
6.4.1 语音识别技术的发展及其关键技术 .....	207
6.4.2 新型语音识别电路 AP7003 .....	208
6.4.3 AP7003 的典型应用电路 .....	210
6.4.4 使用注意事项 .....	213
6.5 低功耗单片无线收发芯片 TR3001 及其应用 .....	214
6.5.1 性能特点与引脚说明 .....	214
6.5.2 基本工作原理 .....	215
6.5.3 典型应用电路 .....	216
6.6 低功耗高性能无线发射/接收电路 ACMTX16/RX18.....	218
6.6.1 ACMTX16 发射电路 .....	218
6.6.2 ACMRX18 接收电路 .....	219
6.7 低功耗编码/解码电路 PT2262/2272 .....	220
6.7.1 主要性能特点 .....	220
6.7.2 PT2262 编码电路 .....	221
6.7.3 PT2272 解码电路 .....	222
<b>第 7 章 实用低功耗设计技巧及电路 .....</b>	<b>225</b>
7.1 为低功耗电子产品选择合适的电池 .....	225
7.1.1 常用电池性能比较及其选择 .....	225
7.1.2 几种常用电池的电特性 .....	226
7.2 从 PC 机 RS-232 口获取单片机工作电源 .....	228
7.2.1 一种最简单的正、负电源获取方法 .....	228
7.2.2 改进的正、负电源获取电路 .....	229

7.2.3	遇到的问题及解决方法	229
7.3	如何降低继电器电路的功耗	230
7.3.1	节省电能的磁保持继电器	230
7.3.2	继电器半压节能电路	231
7.3.3	减小继电器工作电流的几种方法	232
7.3.4	普通继电器实行自保的方法	234
7.4	几种节约单片机接口的键盘新接法	235
7.4.1	利用单片机的 A/D 端口扩展键盘	235
7.4.2	键盘组合接法及其程序设计	237
7.4.3	节约单片机端口的键盘电路	238
7.5	低功耗 RS-232 串行接口设计方法	240
7.5.1	RS-232 串行通信标准	240
7.5.2	简化的 RS-232 接口电路	241
7.5.3	使用新型、低功耗 RS-232 收发器件	241
7.5.4	使用+3.3V 单电源供电器件	243
7.5.5	新的串行通信标准——为低于 3.0V 供电系统提供解决方案	244
7.5.6	一个典型的通信电缆应用实例	246
7.5.7	使用注意事项	247
7.6	低功耗 RS-485 网络接口设计方法	248
7.6.1	RS-485 网络的功耗	248
7.6.2	网络失效保护功能	248
7.6.3	降低网络功耗的几种措施	249
<b>第 8 章</b>	<b>低电压、低功耗系统设计举例</b>	<b>253</b>
8.1	单节 1.5V 电池供电电路 3 例	253
8.1.1	1.5V 简易调频无线话筒	253
8.1.2	1.5V 立体声耳机放大器	254
8.1.3	用 1.5V 电池供电的低电压稳压器	255
8.2	用 ISD4000 构成的单片机通用语音开发板	255
8.2.1	开发板电路结构	255
8.2.2	开发板性能参数	256
8.2.3	电路原理图	256
8.2.4	源程序清单	258
8.3	微功耗精密电子体温计、计步器	262
8.3.1	用 EOC6251 设计的精密电子体温计	262
8.3.2	用 HT7500 设计的精密电子体温计	263
8.3.3	用 SC1350 构成的低功耗计步器	264
8.4	微功耗多功能人体电子监护器	265
8.4.1	主要功能	265
8.4.2	特点及性能参数	266
8.4.3	硬件电路及工作原理	266

---

8.5 一种低功耗、低成本微型抄表器的实现.....	267
8.5.1 主要性能指标.....	267
8.5.2 硬件电路与工作原理.....	267
8.5.3 电能消耗的计算.....	269
8.5.4 软件工作流程图.....	270
8.6 用 MSP430 构成的几种超低功耗产品.....	271
8.6.1 用 MSP430F1121 构成的智能水表.....	271
8.6.2 用 MSP430F149 构成的智能三相电表.....	272
8.6.3 用 MSP430F133 构成的智能暖气表.....	272
8.6.4 用 MSP430X12X 构成的超低功耗键盘电路.....	273
8.7 三种新颖实用的低功耗接口电路.....	275
8.7.1 一种用于 RS-232 接口的无源温度测量电路.....	275
8.7.2 一种降低光电隔离器电路功耗的方法.....	277
8.7.3 一种超低功耗 SRAM 掉电保护电路.....	278
附录 1 部分其他型号的低功耗特色器件.....	280
附录 2 国内著名 IC 厂商网址.....	290
附录 3 国外著名 IC 厂商网址.....	293
附录 4 主要参考文献.....	297

# 第 1 章 低功耗电路设计概述

## 1.1 低功耗设计的必要性

随着现代电子技术的飞速发展，电子产品的低功耗设计越来越受到人们的重视。低功耗设计包括了低电压设计、低电流设计、相应的软硬件设计、充分利用现有资源、开发新资源等多层含意与技术，它已经成为各国、各公司竞相研究的一个重要领域。低功耗技术正在逐步形成“低功耗电子学”学科。

过去的电子产品随意使用 220V、380V 电源，很少考虑到功耗问题，而现在则不允许了。现在是强调绿色环保的时代，越来越多使用电池的手持式产品问世，原有的“大而笨”产品逐渐被现在的“小而精”产品代替。从近两年一些世界性的仪器仪表展览会及各大公司争相推出“低功耗”、“微功耗”以至“零功耗”产品等现象上就可看出，低功耗设计确实已经成为电子产品设计的一个主潮流。

低功耗设计的重要性直接体现在各种便携式电子产品的广泛应用上。移动通信设备、便携式计算机和移动式多媒体设备成为现今增长率最高的产品，便携式产品具有巨大的市场。这些产品的市场竞争力往往与其电池使用时间关系重大，甚至有些产品的低功耗特性直接成了其产品竞争力的代名词。

例如，在 1999 年的多国仪器仪表展览会上，有多家公司展出了使用电池供电的工业流量计，这些产品 5~10 年都不必更换电池和进行维护，深受用户的欢迎。再如，有预测表明，到 2006 年，仅电池充电器和 AC 适配器每年的待机功耗就将达到 60TWh，这是一种巨大的电能浪费，因为在待机模式下，设备不会执行任何有用功能。因此，许多企业和国际组织正在试图通过提高外部电源在待机或无负载状态下的效率来改变这一状况。欧洲能源委员会最近公布了一个新的电源管理规范，针对待机功耗提出了一个分 3 阶段实施的推荐性标准，如表 1.1 所示。采用新技术、新器件是达到这些标准的捷径，它将为我国大量的能源。

表 1.1 欧洲能源委员会外部电源标准

额定输入功率	无负载功耗		
	第 1 阶段	第 2 阶段	第 3 阶段
$0.3W \leq P < 15W$	1.0W	0.75W	0.3W
$15W \leq P < 50W$	1.0W	0.75W	0.5W
$50W \leq P < 75W$	1.0W	0.75W	0.75W

低功耗设计的优点体现在以下几个方面。

## 1 节约能源

能源危机问题越来越受到世界各国的重视。为了节能,各国都采取了多种多样的节能措施,如1993年美国提出了以节能为主题的“能源之星”计划,欧共体最近提出的“电源管理规范”等。节约能源已经成为世界性的不可逆转的潮流,低功耗设计正是基于这一要求提出来的,充分体现了现代环保节能的要求。

## 2 解决 EMC (电磁兼容) 问题

随着现代科技的飞速发展,电子、电力、电气设备应用越来越广泛,它们在运行中产生的高密度、宽频带的电磁信号充满了整个空间,形成复杂而恶劣的电磁环境。近年来,EMC(电磁兼容)标准在许多国家(包括我国)和地区逐渐成为电子产品强制性执行标准,不满足EMC标准的产品不能销售,特别是欧共体、美国等国家和地区对产品提出了十分严格的EMC要求。EMC已经成为电子企业发展面临的一个重要技术和挑战。

例如,设计者为了提高数据采集精度而高价购买高分辨的ADC,但测试结果却发现14bit ADC与12bit ADC没有什么区别,或输入信号不变时输出也在跳变,这就是电路原理及PCB板的EMC问题。再如,一种非常常见的情况,就是设计的产品在实验室工作一切正常,连续老化数天,甚至旁边有电钻、电机都没有问题,但一到现场就是不稳定或者精度降低或者干脆死机,一般原因就是电源之间的串扰。有经验的设计者告诉我们:上述情况若改用电池供电,这些问题就可巧妙地回避过去,但前提是需要降低系统功耗,也就是说低功耗设计可帮助解决这些EMC问题。

## 3 减小体积、减轻重量

用交流电压供电,就需要有交流-直流变换电路,自然增加了产品的体积与重量,有些特殊场合还可能无法提供所需要的交流电源,这些都给产品的使用带来不便。使用电池供电后,产品的体积、重量大大减小,使用范围更为广泛。

## 4 降低成本、提高可靠性

使用电池供电及降低系统功耗后,往往可以提高产品的可靠性与寿命,厂家可以节省定期检测、维修等费用,降低了成本。对于使用电池的系统,降低功耗后,可延长电池使用时间,这对于一些特殊环境如野外、井下、空中和无人值守监测等领域具有重要意义。

人们对低功耗设计的努力是永远没有止境的。现在真正无需电源的“零功耗”产品已经不少,如从太阳能取电的产品。而目前又有报道,甚至连太阳能都不需要的产品也已经问世,如一种能从空气温湿度变化中获取能源的“空气钟”。西门子公司近期宣布其研制成功一种“事件驱动SAW传感器”,这种全新传感器可在既定情况发生变化时自动生成报告,并可通过天线进行距离达百米的发射。这种传感器可从报告的事件本身获取所需能量,无需电池,无需连线,具有无可比拟的环保优越性。

综上所述,低功耗设计是非常有必要的,对某些产品甚至是非考虑不可的,任何电子产品都有低功耗设计的必要性。低功耗设计可大大提高产品的综合性能、提升产品的市场竞争力,具有重大的社会效应和经济效益。

## 1.2 从 TTL 电路到 CMOS 电路

集成电路发展到现在共二十多年的时间，已从小规模集成电路 SSI 发展到今天的超大规模集成电路 VLSI。数字电路包含了 TTL、HTL、ECL、CMOS 等多种类型（表 1.2 给出了它们的特性比较），其中 TTL 又发展了多种，包括标准 TTL（74）、高速 TTL（74H）、超高速 TTL（74S）、低功耗 TTL（74LS）、高速抗干扰 HTL 等。同时，集成电路的供电电源也从 5V 发展到 3.3V、3.0V、1.8V、1.5V、1.0V 等。随着技术的发展和产品的要求，以后还必然会开发出速度更快、电压更低、功耗更小的集成电路。

表 1.2 几种集成逻辑电路特性比较

参 数	DTL	TTL	LSTTL	ECL	CMOS	HCMOS
工作电压 (V)	5	5	5	-5	3~18	2~6
延迟时间 (ns)	50	10	9.5	2	80	10
最大频率 (MHz)	1	3.5	4.5	200	2	45
噪声容限 (V)	1	0.4	0.4	0.15	0.4V <sub>DD</sub>	1
负载能力 (个)	6	10	20	100	1000	1000
消耗功率 (mW)	5	10	2	25	0.001	0.001

TTL 电路与 CMOS 电路是两种最经典的逻辑电路，它们的主要区别是：

- CMOS 电路功耗比 TTL 电路功耗低得多，一般为  $10\mu\text{W}$  级，而 TTL 电路一般为  $10\text{mW}$  级。
- CMOS 电路工作电压范围宽，一般为  $3\sim 18\text{V}$ ，而 TTL 电路一般为固定  $5\text{V}$ 。
- 一个 CMOS 电路可以驱动两个 TTL 电路，而一个 TTL 电路不足驱动一个 CMOS 电路，必须采用上拉电阻等方法进行匹配。
- CMOS 电路噪声容限高（即抗干扰能力强），一般为  $1.2\sim 7.2\text{V}$ ，而 TTL 电路一般为  $0.4\text{V}$ 。
- CMOS 电路延迟较大，一般为  $50\text{ns}$ ，而 TTL 电路一般为  $10\text{ns}$ 。
- CMOS 电路使用频率较小，一般为  $10\text{MHz}$ ，而 TTL 电路一般为  $40\text{MHz}$ 。

可见，CMOS 电路具有功耗低、抗干扰性好、负载能力强、工作电压范围宽等显著优点。随着微电子器件的发展，几乎在每一个双极型 TTL 器件出现之后，马上就出现了具有相同管脚、相同功能、可以直接互换使用的低功耗 CMOS 器件，这样就有可能设计出全部由 CMOS 器件构成的低功耗电子产品。

一般情况下，CMOS 的静态功耗极小，若注意控制电路的静态电平的负载电阻的接法，CMOS 电路的静态功耗可进一步减小到  $\mu\text{A}$  级。CMOS 电路的功耗特性为：

$$P(\text{总功耗}) = P_D(\text{静态功耗}) + P_A(\text{动态功耗})$$

$$\text{其中: } P_D = V_{DD} \times I_{DD} \quad P_A = V_{DD} \times I_{TC} + V_{DD}^2 \times RfC_L$$

从公式可以看出，影响 CMOS 电路功耗的主要因素为电源电压  $V_{DD}$ 、工作频率  $f$  及  $C_L$  充放电电流电容，而且动态功耗  $P_A$  要远大于静态功耗  $P_D$ 。从原理上说，CMOS 电路基本是由一个增强型 PMOS 和一个增强型 NMOS 串接成互补结构组成，该电路在“0”态或“1”态时只有一个管子导通而另外一个管子截止，当状态发生变化，即从“0”态变成“1”态或从“1”态变成“0”态的过程中，两个管子同时导通导致瞬间短路，从而产生短路功耗，此



时电路消耗的功率最大。因此，要降低 CMOS 电路的功耗主要采取 3 方面的措施：

(1) 降低工作频率。一个电路的工作频率越高，其功耗就必然越大，反之就越小。因此应当在满足运行速度的条件下尽量降低工作频率，并且时钟不用时应及时将其关闭。

(2) 降低工作电压。降低工作电压可同时减小静态功耗与动态功耗，效果是非常明显的。目前许多 CMOS 电路的工作电压已经可低到 3.3V、3V、2.7V 甚至 1.5V。

(3) 尽量使电路处于静态工作状态。设计系统时（包括软件设计），尽量使电路处于确定的工作状态，避免没有必要的循环、跳变。对未用管脚一定不能浮空，要接到  $V_{CC}$  或者 GND 上，否则输入引脚上积累的电荷很容易使引脚电位处于“0”至“1”间的过渡区域，大大浪费了功耗。

在目前的电路设计中，很多是由 CMOS、TTL 混合组成的，因此要注意它们之间的相互驱动问题。如表 1.3 所示，从表中可以看出，CMOS 电路之间可以相互驱动，TTL 电路并不能驱动所有的 CMOS 电路，因为 TTL 电路的高电平输出  $V_{OH}$  低于 CMOS 电路所需的有效高电平输入  $V_{IH}$ 。反之，CMOS 电路可以驱动 TTL 电路。74HCT 系列电路的输入电平与 TTL 电路兼容，而输出电平与 CMOS 电路兼容。

表 1.3 几种集成电路的逻辑电平对照

逻辑电平	$V_{IH}$ (V)	$V_{IL}$ (V)	$V_{OH}$ (V)	$V_{OL}$ (V)
8051	2.0	0.8	2.4	0.5
80C51BH	1.9	0.9	4.5	0.45
LSTTL	2.0	0.8	2.7	0.5
74HC	3.5	1.0	4.9	0.1
74HCT	2.0	0.8	4.9	0.1
4000	3.5	1.5	4.95	0.05

近年来许多集成电路厂家又开发了多种改进的新型电路，融合了 TTL 电路与 CMOS 电路的优点而具有向上兼容、低功耗、高速度、大驱动电流等特点，TTL 与 CMOS 电路的绝对差别正被打破，即使是相同型号的器件，性能也有很大提高。表 1.4 所示的以 TI 公司逻辑电路为例，说明了新型电路与老型电路性能参数的差异。

表 1.4 TI 公司集成逻辑电路性能比较

类 型	工作电压(V)	工 艺	传输速率(ns)	驱动电流(mA)	工作温度(°C)
74 系列	+5	双极型	20	-24/24	0~70
74F 系列	+5	双极型	6.5	-15/64	0~70
74LS 系列	+5	双极型	18	-15/24	0~70
74ALS 系列	+5	双极型	10	-15/24	0~70
74ACT 系列	+5	CMOS	10	-24/24	-40~85
74HC 系列	+2~6	CMOS	25	-8/8	-40~85
74HCT 系列	+5	CMOS	25	-8/8	-40~85
74AHC 系列	+2~5.5	CMOS	8.5	-8/8	-40~85
74AHCT 系列	+5	CMOS	8.5	-8/8	-40~85

### 1.3 电子产品低功耗设计的基本原则

低功耗设计应当贯穿整个电子产品设计的全过程，从系统方案的拟定、电路的设计、元

器件的选取、应用软件的设计一直到系统的集成等。

### 1.3.1 系统方案的拟定

便携式产品应当体积小、重量轻、功耗低，为了达到这一目的，在设计产品时首先就要对产品的功能、指标、结构、功耗进行分析。比如，电源采用交流供电还是直流供电、交流供电采用什么电源变换技术、直流供电如何分配电源、系统各功能模块需要多大电流等。

既要提高产品的性能，又要尽量降低其能耗，这通常是一对矛盾。因为系统的技术指标往往与系统的功耗关系极大，有些指标，如速度、精度、负载能力等一般就是用牺牲功耗的方法获得的。因此，拟定系统方案时应根据实际需要合理地确定产品的技术指标，以达到性能合理的情况下降低功耗的目的。

对于稍微复杂或智能化的仪器，拟定方案时应考虑采用单片机作为核心控制部件，因为现在的单片机本身就有低功耗特性，自身消耗的电流极低，且利用其智能化特性可代替许多分离器件，有利用进行电源管理、满足智能化特性及提高产品的可靠性等特点。

### 1.3.2 电路设计及元器件的选取

电路设计与元器件的选取是同时或交叉进行的。在完全相同的功能要求的情况下，不同的人可以设计出不同的电路，虽然功能都可以完成，但电路功耗却往往相距甚大。因此这是设计中非常关键的一步，也是非常有技巧的一步，这和设计者掌握的知识、拥有的材料、设计的经验有极大的关系。

电路设计与元器件选取时需要考虑的因素是多方面的，一般地讲应遵循以下原则：

#### 1 采用低功耗器件

几乎所有的 TTL 工艺的逻辑电路、单片机、存储器及外围电路都有相对应 CMOS 工艺的低功耗器件，采用这些器件是降低系统功耗最直接的方法。对单片机系统，一般选择 CHMOS 工艺的单片机，既可满足低功耗又可满足高集成、高速度的要求。如 Intel 公司的 80C31/80C51/87C51 系列单片机、Atmel 公司的 89C51 系列单片机、Motorola 公司的 MC68HC05/MC68HC11 系列单片机、PIC 公司的 PIC12/PIC16 系列单片机、EPSON 公司 E0C60/E0C62 系列单片机等。

对于其他集成器件可选用：74HC 系列高速 CMOS 数字电路、4000 系列低速 CMOS 电路、HCMOS 技术的存储器等。常用的程序存储器如 27CXXX 系列，静态存储器如 6116/6264/62256，FLASH 如 29CXXX 系列，接口器件如 82C55/82C53/79C10 等。

#### 2 采用高集成度专用器件

例如用单片机设计一个电子体温计，就没有必要采用 80C51 单片机，而应该采用 EPSON、HOLTEK 等生产的专用于测量体温的单片机，它们内部集成了测温所需的 ADC、振荡器、电压基准、LED 显示驱动等部件，外围电路只需要几个阻容元件，整个电路可在 1.2V~1.5V 电压下工作，功耗极低，而且可靠性、体积等都比用分离器件来设计优越得多。再如 DC/DC 变换，现在市场上有各种各样的模块可供选择，而且效率高、功耗低、体积小、可靠性高，

完全没有必要自己用分离电路来搭接。

### 3 采用单电源、低电压供电

有些器件的工作电压有一定的范围，为降低功耗，应尽量采用单电源、低电压工作方式。如 PIC16C71 单片机工作电压为 3~6V，在频率为 4MHz 下，电压 6V 时功耗约为 12mW，电压 3V 时功耗约为 3mW；再如 LM324 运算放大器单电源工作电压为 5~30V，当电压 15V 时功耗约为 220mW，电压 10V 时功耗约为 90mW，电压 5V 时功耗约为 15mW。可见低电压供电对降低功耗效果是非常显著的。

### 4 降低系统的时钟频率

在系统指标允许的情况下，尽量使用低频率器件有助于降低系统功耗。如 Intel 单片机，外部时钟 12MHz 时指令周期为  $1\mu\text{s}$ ，而 Motorola 单片机系统时钟只要 4MHz 却可达到同样的速度。另外，有些器件内部采用 PLL 锁相倍频技术，将外部时钟降到 32kHz，而内部总线速度却可达到 8MHz。同一单片机工作频率也有高低之分，如 PIC16C71 单片机频率范围为 32kHz~16MHz，供电电压为 5V，频率 4MHz 时功耗约为 10mW，频率 32kHz 时功耗约为 0.15mW，可见在不同条件下功耗相距甚大。

从可靠性角度说，频率降低，不仅可以减小电磁干扰（EMI），而且可以降低线路传输效应，消除高速时钟的布线困难及避免高频信号带来的其他一系列问题。

### 5 利用“节电”工作方式

现在厂家生产的许多器件都有低功耗的“节电”方式，如单片机的闲置、掉电工作方式，存储器的维持工作方式，ADC、DAC 的节能工作方式、DC/DC 器件的停机工作方式等。这些器件具有“节电”工作方式本身就说明它们在正常工作时需要消耗较大的电能，因此设计时充分利用其“节电”方式往往能达到显著的节电效果。

另外，合理处理器件的空余引脚也是非常重要的。大多数数字电路的输出端在输出低电平时，其功耗远大于输出高电平时的功耗，设计时应注意控制低电平的输出时间，闲置时使其处于高电平输出状态。据此，多余的非门、与非门的输入端应接低电平，多余的与门、或门的输入端应接高电平。对 ROM 或 RAM 及其他有片选信号的器件，不要将“片选”引脚直接接地，避免器件被长期接通，而应与“读/写”信号结合，只在对其进行读或写操作时才选通器件。

### 6 实行电源管理

目前大部分的传感器、接口器件、显示器件等本身还没有低功耗工作模式，而有些便携式仪器又不可避免地要使用它们，这些器件往往成了电路中的“耗电大户”。这种情况下，可对电路进行模块设计，工作时对大功耗模块实施间断供电，即设置电源开关电路，并通过软件或定时电路控制开关，使大功耗模块电路仅在需要工作的短时间内加电，其余时间则处于断电状态。