

电能变换与应用丛书

DIANNENG BIANHUAN YU YINGYONG CONGSHU

便携式电子设备电源 设计与应用

周志敏 周纪海 纪爱华 编著

- 第1章 概述
- 第2章 低压差线性稳压器
- 第3章 开关式 DC/DC 变换器
- 第4章 电荷泵电源应用电路
- 第5章 锂离子电池充电器电路
- 第6章 白光 LED 驱动电路
- 第7章 便携式电子设备电源管理
- 第8章 便携式电子设备电源系统设计
- 第9章 便携式电子设备电源的电磁兼容性设计技术
- 第10章 便携式电子设备电源的 PCB 设计技术

电能变换与应用丛书

便携式电子设备电源设计与应用

周志敏 周纪海 纪爱华 编著

人民邮电出版社

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

便携式电子设备电源设计与应用 / 周志敏, 周纪海, 纪爱华编著. —北京: 人民邮电出版社, 2007.6

(电能变换与应用丛书)

ISBN 978-7-115-15850-5

I. 便... II. ①周...②周...③纪... III. 电子设备—电源—设计 IV. TN86

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 022214 号

内 容 提 要

本书结合国内外便携式电子设备电源技术的发展动向及应用实践, 在简要介绍便携式电子设备电源设计和电源管理技术的基础上, 系统地阐述了低压差线性稳压器、开关式 DC/DC 变换器、电荷泵电源应用电路、锂离子电池充电器电路、白光 LED 驱动电路以及便携式电子设备电源管理、电源系统设计、电磁兼容性设计、PCB 设计技术等内容。

本书题材新颖, 内容通俗易懂, 侧重于实际应用, 可供电子、信息、航天、家电等行业从事便携式电子设备电源开发、设计和应用的工程技术人员阅读, 也可供高等院校相关专业师生参考。

电能变换与应用丛书

便携式电子设备电源设计与应用

-
- ◆ 编 著 周志敏 周纪海 纪爱华
责任编辑 刘 朋
 - ◆ 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>
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: 24
字数: 588 千字
印数: 1—5 000 册
 - 2007 年 6 月第 1 版
2007 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-15850-5/TN

定价: 38.00 元

读者服务热线: (010) 67129264 印装质量热线: (010) 67129223

丛 书 前 言

电能变换技术是一种应用功率半导体器件,综合电力变换技术、现代电子技术、自动控制技术的多学科的边缘交叉技术。随着科学技术的发展,电能变换技术又与现代控制理论、材料科学、电机工程、微电子技术等许多领域密切相关,目前已逐步发展成为一门多学科互相渗透的综合性技术学科。

电能变换技术是实现电能变换和功率传递的关键技术,能够对电能变换过程的参数实现精确的控制和高效率的处理,特别是能够实现大功率电能的频率变换,从而为现代通信、电子仪器、计算机、工业自动化、电力工程及某些高新技术提供高质量、高效率、高可靠性的电源支持。因此,电能变换技术不但本身是一项高新技术,而且还是其他许多高新技术发展的基础。电能变换技术及其产业的进一步发展必将为大幅度节约电能、降低材料消耗以及提高生产效率提供重要的技术手段,并对现代生产和生活产生深远的影响。

当前,电能变换技术作为节能降耗、自动化、智能化、机电一体化的基础,正朝着应用技术高频化、硬件结构模块化、产品性能绿色化的方向发展。同时,各行各业的迅猛发展对电能变换产业提出了更多更高的要求,如节能节电、防止污染、改善环境、安全可靠等。这又无形地带动了相关技术的高速发展,也对电能变换技术提出了新的挑战。相信在不久的将来,电能变换技术将更加成熟、经济、实用,实现高效率和高品质用电相结合。

进入 21 世纪以后,电能变换技术已经成为应用最广泛和最受关注的技术之一。发达国家对电能变换技术的创新十分重视,并且投入了大量的人力、物力和财力,形成了具有一定规模的产业,而我国与发达国家相比尚有较大差距。我国政府和社会各界对此十分重视,并把解决能源约束和提高能源利用效率问题提升到了战略的高度。为此,我们结合目前产业发展状况,特组织有关专家、学者和技术人员编写了这套“电能变换与应用丛书”,目的在于介绍目前国内外电能变换技术领域的新器件、新产品、新工艺、新技术和新方法,推广和普及电能变换技术的应用。本丛书在编写时力求突出实用性和先进性,希望本套丛书的出版能够解决电能变换技术应用中的一些实际问题,促进电力电子技术的广泛应用。

本套“电能变换与应用丛书”主要包括《LED 驱动电路设计与应用》、《开关电源设计技术与应用实例》、《太阳能发电原理与应用》、《高频交流电子镇流技术与典型应用电路》、《便携式电子设备电源设计与应用》、《单片开关电源集成电路应用设计实例》等,将陆续出版,恳请广大读者批评指正。

本套丛书题材新颖,内容丰富,文字通俗,深入浅出,具有很高的实用价值,可供电力、工控、电子、信息、航天、军事及家电等领域从事电源开发、设计和应用的工程技术人员阅读,也可供高等院校相关专业的师生参考。

前 言

随着电子技术日益向高频率、高速度、宽频带、高精度、高可靠性、高灵敏度、高密度（小型化、大规模集成化）、大功率、小信号运用和复杂化方向发展，当今便携式电子产品的数量越来越多，尺寸越来越小，发射功率越来越大，灵敏度越来越高，接收微弱信号的能力越来越强，同时对电源的要求更加灵活多样。便携式电子设备的小型化和低成本化使电源以轻、薄、小和高效率为发展方向，而便携式电子设备电源的模块化、智能化已是当今电源技术的主流发展趋势。

集成稳压电源是目前在便携式电子设备中应用最为广泛的一种电源，其具有损耗低、效率高、电路简洁等显著优点，受到了人们的青睐。近年来随着电子信息产业的高速发展，人们对集成稳压电源的需求与日俱增，集成稳压电源的开发研制生产已成为发展前景十分诱人的朝阳产业。

在便携式电子设备的电源系统设计中，如何提高产品性能、进一步延长电池的工作时间，是便携式电子设备设计所面临的挑战。便携式电子设备的不断创新和发展，对为其供电的电源管理技术提出了更高的要求。因此，便携式电子设备电源的高效率、高密度、高可靠性的电源管理技术显得更加重要。电源管理技术的发展趋势是在更小的硅芯片上集成更多的功能特性，同时以更高的设计灵活性实现更强的系统用电性能而又不增加成本。便携式电子设备电源系统的设计，不但要考虑电源本身的参数设计，还要考虑电气设计、电源管理设计、PCB设计、电磁兼容性设计、热设计、安全性设计、“三防”设计等诸多方面。

本书结合国内外便携式电子设备电源技术的发展动向及应用实践，在简要介绍便携式电子设备电源设计和电源管理技术的基础上，系统地阐述了低压差线性稳压器、开关式DC/DC变换器、电荷泵电源应用电路、锂离子电池充电器电路、白光LED驱动电路以及便携式电子设备电源管理、电源系统设计、电磁兼容性设计、PCB设计技术等内容。本书在写作上力求具有较高的针对性和实用性，做到理论和应用相结合，使得从事便携式电子设备电源开发、设计、应用的技术人员从中获益。读者可以借助本书系统全面地了解和掌握便携式电子设备电源设计和电源管理技术。

本书由周志敏担任主编，参与编写工作的还有周纪海、纪爱华、李世君等。在本书写作过程中，在资料的收集和技术信息交流等方面得到了国内专家学者和同行的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促，水平有限，书中难免存在疏漏之处，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 便携式电子设备电源系统	1
1.1.1 便携式电子设备电源系统的设计	1
1.1.2 便携式电子设备常用电源芯片	5
1.2 便携式电子设备的电池管理	9
1.2.1 电池管理功能	9
1.2.2 电源管理技术的发展	10
第 2 章 低压差线性稳压器	14
2.1 低压差稳压技术	14
2.1.1 低压差稳压器	14
2.1.2 LDO 的热管理	18
2.2 LDO 集成稳压器	20
2.2.1 LDO 集成稳压器的特点	20
2.2.2 典型 LDO 集成稳压器	24
2.3 LDO 的应用	35
2.3.1 LDO 的选择	35
2.3.2 LDO 的应用电路	37
2.3.3 用 LDO 优化开关电源设计	41
第 3 章 开关式 DC/DC 变换器	43
3.1 开关稳压电源	43
3.1.1 开关稳压电源的特点与分类	43
3.1.2 开关电源的控制方式	47
3.1.3 开关电源常用的电路类型	55
3.2 开关式 DC/DC 变换器应用电路	58
3.2.1 MAX1642/MAX1643 开关式 DC/DC 变换器应用电路	58
3.2.2 MAX668 开关式 DC/DC 变换器应用电路	61
3.2.3 MAX629 开关式 DC/DC 变换器应用电路	64
3.2.4 MAX1715 开关式 DC/DC 变换器应用电路	69
3.2.5 MAX1790 开关式 DC/DC 变换器应用电路	73
3.2.6 L5973AD 开关式 DC/DC 变换器应用电路	77
3.2.7 LM2575 开关式 DC/DC 变换器应用电路	79
3.2.8 LM2576 开关式 DC/DC 变换器应用电路	81

3.2.9	LM2678 开关式 DC/DC 变换器应用电路	83
3.2.10	SP6644/SP6645 开关式 DC/DC 变换器应用电路	85
第 4 章	电荷泵电源应用电路	89
4.1	电荷泵的工作特性	89
4.1.1	电荷泵的工作原理及特点	89
4.1.2	三种开关式 DC/DC 变换器性能比较	93
4.2	新型单片电荷泵	96
4.2.1	AAT3110 电荷泵	96
4.2.2	MAX1759 电荷泵	97
4.2.3	低纹波电荷泵	101
4.3	电荷泵典型应用电路	110
4.3.1	TC 系列电荷泵反转倍压器的典型应用	110
4.3.2	LM3354 /LM2794 电荷泵的典型应用	111
4.3.3	LTC3202 的典型应用	113
4.3.4	ATT3100 电荷泵的应用电路	113
4.3.5	低噪声、正向调节 MCP1253 电荷泵	117
4.3.6	SP6682 稳压型电荷泵应用电路	118
4.3.7	LTC1983ES6-5 电荷泵应用电路	119
4.3.8	MAX202E 电荷泵应用电路	120
4.3.9	MAX5008 电荷泵应用电路	121
4.3.10	超低静态电流电荷泵	122
第 5 章	锂离子电池充电器电路	124
5.1	锂离子电池充电器	124
5.1.1	锂离子电池充电解决方案	124
5.1.2	低电流精准锂离子电池充电器	129
5.2	锂离子电池充电控制器	134
5.2.1	MAX1679/MAX1736 充电控制芯片应用电路	134
5.2.2	MAX846A 充电控制芯片应用电路	136
5.2.3	LTC1732 充电控制芯片应用电路	139
5.2.4	M62253FP 充电控制芯片应用电路	141
5.2.5	LTC4008 充电控制芯片应用电路	144
5.2.6	bq24××× 充电控制与选择芯片应用电路	148
5.3	锂离子电池充电管理芯片应用电路	154
5.3.1	bq2057 充电管理芯片应用电路	154
5.3.2	AAT3680 充电管理芯片应用电路	158
5.3.3	TWL2213 充电管理与控制芯片应用电路	161

第 6 章 白光 LED 驱动电路	168
6.1 白光 LED 驱动技术	168
6.1.1 白光 LED 驱动电路的设计	168
6.1.2 白光 LED 的并联和串联驱动	176
6.1.3 白光 LED 的驱动电路	184
6.1.4 各种白光 LED 驱动电路特性比较	191
6.2 白光 LED 典型驱动电路	194
6.2.1 高效白光 LED 驱动电路	194
6.2.2 电荷泵实现低功耗手机 LCD 背光驱动	197
6.2.3 手机相机低压闪光灯驱动电路	205
第 7 章 便携式电子设备电源管理	209
7.1 电源管理系统	209
7.1.1 电源的控制与排序	209
7.1.2 电源动态管理	215
7.1.3 数字方式的电源管理	221
7.2 电源管理解决方案	227
7.2.1 便携式电子设备电源管理芯片	227
7.2.2 电压检测及选择芯片	233
7.3 便携式电子设备的电源管理解决方案	240
7.3.1 便携式电子设备的电源管理	240
7.3.2 手机电源管理方案	243
第 8 章 便携式电子设备电源系统设计	251
8.1 便携式电子设备电源电路	251
8.1.1 便携式电子设备电源的效率	251
8.1.2 系统芯片 (SoC) 的功耗	256
8.1.3 功率管理设计流程	261
8.2 便携式电子设备电源设计	266
8.2.1 微处理器内核电源	266
8.2.2 微处理器内核电压电路设计	269
8.2.3 DSP 应用系统的电源解决方案	276
8.2.4 手机低压芯片组的供电电源	278
8.3 笔记本电脑供电系统	281
8.3.1 笔记本电脑电源解决方案	281
8.3.2 笔记本电脑的电源适配器	287
8.3.3 USB 外设的电源设计	290

第9章 便携式电子设备电源的电磁兼容性设计技术	294
9.1 便携式电子设备电源的电磁兼容性	294
9.1.1 电磁兼容技术	294
9.1.2 电磁兼容性设计	295
9.2 便携式电子设备电源的抗干扰设计	298
9.2.1 便携式电子设备电源系统的电磁兼容性设计	298
9.2.2 电磁干扰的产生和传播方式	300
9.2.3 电磁干扰的抑制方法	303
9.2.4 接地技术	307
9.2.5 屏蔽技术	311
9.2.6 滤波技术	316
9.3 瞬态干扰抑制器	318
9.3.1 铁氧体抑制元件	318
9.3.2 氧化物压敏电阻瞬态干扰抑制器	323
9.3.3 TVS 瞬态干扰抑制器	325
9.3.4 便携式电子设备电源的 ESD 保护器件	328
第10章 便携式电子设备电源的 PCB 设计技术	335
10.1 PCB 技术	335
10.1.1 PCB 的功能与特点	335
10.1.2 PCB 的分类	337
10.2 PCB 设计	338
10.2.1 PCB 设计流程	339
10.2.2 PCB 布局设计	340
10.2.3 PCB 布线设计	344
10.2.4 PCB 焊盘	354
10.2.5 混合信号 PCB 的设计	356
10.3 PCB 的可靠性设计	358
10.3.1 PCB 抗干扰设计	358
10.3.2 PCB 中带状线、电线、电缆间的串音和电磁耦合	362
10.3.3 高频电路的 PCB 电磁兼容性设计	367
10.3.4 PCB 分层设计抑制 EMI	371
参考文献	375

第1章 概述

1.1 便携式电子设备电源系统

1.1.1 便携式电子设备电源系统的设计

1. 便携式电子设备电源系统的设计要求

便携式电子设备包括手机、数码相机、MP3 播放器、便携式 DVD 播放器、高分辨率显示掌上游戏机、掌上电脑 (PDA)、全球定位系统 (GPS) 导航设备、笔记本电脑以及其他最新出现的功能设备。仅具有单一功能的便携式电子设备已不复存在, 同时设备之间的界限也日趋模糊。例如, 现在的手机集成了照相机、游戏机、MP3 播放器、PDA 功能、计算器以及因特网接入和电话应答服务。

便携式电子设备的一个新趋势是增加视频功能, 而视频功能是一个电池消耗源。随着便携式电子设备功能水平的提高, 其对功耗的要求也在不断地提高。许多要求已经集中体现在电源上, 并且最终的要求归结为工作电流和待机电流。这两者都很重要, 在很多情况下必须考虑对二者的折中。视频功能和视频驱动器通常是辅助功能(也就是说不是设备的主要功能), 所以视频驱动器在设备正常运行期间的大部分时间内往往是关闭的。在理想情况下, 视频放大器工作时应该只消耗几毫安的工作电流, 并具有很宽的带宽以提供最佳的视频性能。在待机模式下, 放大器应该只消耗很小的电流(为了延长电池寿命), 这些要求都是电源系统设计所面临的挑战。

便携式电子设备的尺寸在不断缩小、工作时间也在不断延长, 而产品的功能却在不断地增多, 从而使电源系统设计面临着越来越大的压力。不难看出, 功能日益增多导致了一种新的需求出现, 即在不同功率情况下要求输出电压更低。例如, 图像处理器在视频捕捉期间需要高达 360mW 的功率。满负载工作时, 设备的内部系统负载需要的峰值功率超过 2W 的情形相当常见, 如此大的功耗能迅速耗尽电池的能量, 是影响电池工作时间和效率的重要因素, 对此需要采用电源管理技术。

便携式电子设备电源设计需要系统的思维, 在开发由电池供电的设备时, 如果电源系统设计得不合理, 则会影响到整个系统的结构、产品的特性、元器件的选择、软件的设计和功率的分配等。同样, 在便携式电子设备设计中, 也要充分考虑采取节省电池能量和提高电源效率的电源管理技术。例如, 现在便携式电子设备的处理器一般都设有几个不同的工作状态, 通过不同的节能模式(空闲、睡眠、深度睡眠等)可降低功耗。

在开发一个高效电源管理系统时, 必须先从理解电源的特性和要求着手, 高效电源管理技术的应用需要具备有关负载类型和特性参数。在便携式电子设备中, 有两种需要电源管理

的应用，即数字子系统（微处理器与数字 I/O 接口）和信号路径（模拟或射频）。两者对性能的折中要求也各不相同，只有采取不同的设计方法才能保证系统的最佳性能。

（1）微处理器与 I/O 电源管理

在大多数便携式电子设备中，数字子系统（微处理器与数字 I/O 接口）的耗电量在总功耗中占有很大的比例，许多子系统内的微处理器必须一直有电源供应，包括处于等待状态下。在现代的数字子系统中，这种对高效率的需求变得更加复杂，并且电源电压 V_{CC} 比输入电压低得多，最低可达 1V。这些因素结合在一起，促进了对高精度变换器的需求。

开关式 DC/DC 变换器可以避免线性变换器效率低的问题，通过使用低电阻开关和电感器实现了高达 96% 的效率，极大地降低了转换过程中的功率损失。由于开关式 DC/DC 变换器工作在超过 1MHz 的高开关频率上，所以外部电感器和电容器的尺寸可以缩小。开关式 DC/DC 变换器的主要优势是稳压效率非常高，而与输出电压和输入电压之比 (V_{OUT}/V_{IN}) 无关。但是，开关式 DC/DC 变换器也有不利的一面，主要是需要采用电感器，电感值越小，纹波电流越大。当系统要求使用极小型元件时，必须在两者间作出平衡。虽然提高开关频率可以使用较小的电感器，但由于场效应晶体管 (MOSFET) 开、关的延迟以及为栅极电容快速充电的功率增大，开关损耗也增加了（效率降低）。MOSFET 的栅极电容被“充电”时，MOSFET 不能完全处于饱和范围内（源、栅电阻 R_{DS-ON} 不为最小）。对于需要外接 MOSFET 的控制器，选择 MOSFET 则十分重要，低 R_{DS-ON} 值的 MOSFET 在低负荷时的门损占总损耗的比例较大，应当控制 MOSFET 在低负荷时的门损。因此，应选用低 R_{DS-ON} 值、且具有低栅极电容的 MOSFET。开关式 DC/DC 变换器的输出纹波电压与电感的纹波电流和输出电容 (ESR) 的乘积成比例。陶瓷电容的 ESR 最低，在设计中应首选陶瓷电容。

固定频率的开关式 DC/DC 变换器适用于已知道 di/dt 噪声频率范围的系统，而负载较轻时效率损失很大。如果负载为“满功率”或是在关机状态下，这一点并不重要，但考虑到数字处理器或内存在等待状态下也要保持供电，所以重要的是选择一款器件，它可以切换到脉冲跳跃 (Pulse-skipping) 或脉冲频率调制 (PFM) 方案。在 PFM 方案中，MOSFET 只在输出电压低于比较器阈值时才导通，为输出滤波器充电。这种方案会持续工作到检测输出电流升至某个阈值而再次需要 PWM 方式时。这种 PFM 方案有两个好处：一是由于大量内部电路被关闭，极大地降低了开关式 DC/DC 变换器的内部工作电流；二是输出级只有在需要的时候才进行开关转换（而不是在每个时间周期的开始），因而开关损耗可减小到最低程度。

PFM 方案的缺点是：因频率是可变的， di/dt 噪声就不再是可预测的了。但经优化的 PFM 方案会在充电期间把开关频率集中在或近似于标称的固定频率处。由于此时输出的纹波电流非常小，降低了对充、放电输出电容的要求，因此 EMI 可以忽略不计。

在设计中还要重点考虑负载的瞬态响应，开关式 DC/DC 变换器能够对输出功率（负载电流）的瞬时增加作出响应。目前，大多数 DC/DC 变换器都优化了用于负载瞬态响应的控制电路，但因外接元器件对系统的性能影响甚大，设计中需在最小的电感和输出电容之间进行折中。

当不需要最高的效率时，开关电容降压变换器（电荷泵）是一种完美的选择。电荷泵可实现高于线性低压差变换器 (LDO) 的效率，且无需使用电感。对于高至 200mA 的负载电

流, 可实现平均 70%~80% 的效率。现代的电荷泵使用了一种控制方法, 使其增益可以随着 V_{OUT}/V_{IN} 值的变化而即时改变。通过增益的自动改变, 可以在给定条件下保证最高的效率。

(2) 信号路径的电源管理

信号路径中器件的电源管理与数字子系统有很大的不同, 信号路径中的器件要与模拟信号一同工作, 所以保持数据完整性非常重要。因此, 信号路径中电源管理设计的优先选择方案也不相同。在信号路径供电中最常见的结构是 LDO, LDO 被认为是最简单的变换器, 其最大的缺点在于热量管理方面, 因为其转换效率大约等于 V_{OUT}/V_{IN} 。例如, 一个 LDO 的输入电源的标称值为 3.6V 的单节锂离子电池, 在电流为 200mA 时输出电压为 1.8V, 转换效率仅为 50%, 因此在产品中产生了一些发热点, 并缩短了电池的工作时间。LDO 的负载特性比较稳定, 因此优化工作可以更多地集中在传导噪声、电源噪声的抑制和 LDO 压降方面。

传导噪声是无法预测的噪声, 它可以是通过性的或是电源器件自身产生的。如果这个噪声过高, 混入信号中, 将造成数据损坏或降低系统读取数据的能力。噪声参数很难由数据表得到, 因为没有确定解决这个问题的常用方法。电源噪声的抑制主要是减少电源器件输入端的干扰, 电源输入端固定频率正弦波与输出端振幅的比率定义为电源抑制比 (PSRR), 要与噪声共同考虑, 因为两者是叠加关系。

现在, 在信号路径供电领域出现了一种新兴技术, 它特别适用于射频功率放大器 (RFPA), 需要一个专用的 DC/DC 变换器为 RFPA 提供电源电压 V_{CC} 。迄今为止, 这种应用还限于手机, 但也开始向 WLAN 和其他无线应用领域发展。

现代 RFPA 可以在电源电压 V_{CC} 比传统的 3V 电压低得多 (或更高) 的情况下仍保持线性, 并且由于 RFPA 为高效的固定阻抗负载, 降低电源电压 V_{CC} 也就降低了电流消耗。在手机应用中, 根据不同的射频发射方案, 电源功耗可以降低 80% 以上。将一个与检测到的功率成比例的控制信号送给 DC/DC 变换器, 就可以改变电源电压 V_{CC} 。当需要较小的发射功率时, 可以降低电源电压 V_{CC} , 以减少功率损耗。当设计 RFPA 时, 必须清楚最小可用电源电压 V_{CC} 。如果 RFPA 要在低至 1.5V 甚至更低的电压下保持线性, 则要考虑使用专用的 DC/DC 变换器。

从便携式电子设备电源管理的发展趋势来看, 在便携式电子设备电源设计时需要考虑的问题有:

- ① 必须要从成本、性能和产品上市时间等整个系统设计来考虑。
- ② 便携式电子设备日趋小巧、薄型化, 必须考虑电源系统的体积、重量问题。
- ③ 选用电源管理芯片力求高集成度、高可靠性、低噪声、抗干扰、低功耗, 突破散热瓶颈, 延长电池寿命。

选用具有新技术的电源芯片, 将新的电源芯片应用于新的设计方案中去, 是保证新产品先进性的基本条件, 也是便携式电子设备电源管理的永恒追求。电源管理芯片的选用原则是:

- ① 选用生产工艺成熟、品质优秀的生产厂家的产品。
- ② 选用工作频率高的芯片, 以降低周边电路的应用成本。
- ③ 选用封装小的芯片, 以满足便携式电子设备对体积的要求。
- ④ 选用技术支持好的生产厂家, 以方便解决设计中的问题。
- ⑤ 选用产品资料齐全, 已系列化和批量生产的芯片。

⑥ 选用性价比高的芯片。

2. 便携式电子设备的电源特点

随着便携式电子设备不断加入新的功能（例如彩色液晶显示器、电子记事簿、微型浏览器、调频调谐器、MP3 播放器和游戏机等），便携式电子设备变得越来越复杂。然而，用户却是希望这些新的功能不会增加便携式电子设备的体积和重量，不会影响到电池两次充电之间的工作时间或者待机时间。解决这对矛盾的方法是改进数字半导体的制造工艺，并且采用电源管理技术。

便携式电子设备的输入接口需要有震动电机使用的变换器、用于 LED 指示的电流源和用于触摸屏输入的模拟/数字（A/D）变换器。这些输入接口给电池增加了负载。而射频部分是对噪声最敏感的地方，需要性能优异的 LDO，尽可能地避免受到噪声的影响，同时还要求它的输入电压和输出电压之差很小，在一节锂离子电池 2.7~4.2V 的工作电压范围内，可以最大限度地利用电池的能量。随着便携式电子设备的工作电压从 2.85/3V 降至 2.5V，以及所需要的总电流下降，射频部分所需要的功率一直都在改善。

CDMA20001x 是移动电话使用的基带处理器，它消耗的电流为 60~120mA。目前亚微米数字工艺的微处理器内核要求用 1.5V 或 1.8V 的电压，还需要 2.5~3.0V 的电压用于输入、输出电路。在未来的几年里，随着数字工艺的尺寸继续缩小，用于内核正常工作的标准电压将下降到 1.0V 以下，而输入、输出电路的工作电压仍将保持在 2.5V 以上，以满足数字电路连接到模拟电路的需要。

在电池的电压为 3.6V（一节锂离子电池的工作电压）时，开关式 DC/DC 降压变换器同 LDO 相比，采用开关式 DC/DC 降压变换器作为核心的开关电源的效率翻了一番。在基带处理器电压低于 1.0V 时，效率之间的差别只会加大，这是因为一节锂离子和锂离子聚合物电池的工作电压固定在 2.7~4.2V 的范围内。开关式 DC/DC 降压变换器的主要缺点是静态电流较大，在低负载的情况下（例如手机处于待机状态时），它就成为影响电池使用寿命的主要因素。使用现在的数字传输技术，如果不打电话，手机接通电源的时间不会超过 5%，而在手机通话时，不会超过 50%。以 GSM 为例，在每次发送与接收时，标准的工作时间是 12.5%；手机在整个使用期间，处于低功耗待机状态的时间长达 40%~90%。在低功耗模式下电流非常小，因此，目前手机的待机时间通常可达 300~400h，这时电流的消耗只有正常工作状态下的 0.1%。由于电流损耗低，所以使用静态电流低的 LDO 的效率就会高于开关式 DC/DC 降压变换器。如果能把轻载状态下的 LDO 的优点和中负载至高负载状态下的开关式 DC/DC 降压变换器的优点结合起来，就能够在整个负载范围内最大限度地提高电池的使用寿命。

在更高电流（大于 200mA）的应用中，LDO 的无效功率成为总功率的重要部分。在满负荷时，开关式 DC/DC 降压变换器的有效功率能达到 95%，这使它极具吸引力，但必须以更大的 PCB 面积和更多的外部元器件作为代价。为了尽可能延长电池的使用寿命，开关式 DC/DC 降压变换器必须在较大负载范围内维持高效率。

开关式 DC/DC 降压变换器在 PWM 模式下工作在固定频率上，而该频率可以被对噪声敏感的应用所过滤。在这种模式下，主要损耗是变换器进行功率转换时发生的传导损耗和开关损耗。为了在轻负载时维持高效率，开关频率应根据 PFM 的规律降低并允许它随负载变化，从而减少开关损耗。此外，PFM 模式还能关断大部分电路以降低静态电流。

1.1.2 便携式电子设备常用电源芯片

1. 线性低压差变换器 (LDO)

LDO 由稳压器件、误差放大器、反馈电路以及参考电压组成，它的外部元件是一个输入电容器和一个输出电容器。LDO 的特点是：输出噪声电压低，电源电压变化影响小，负载变化响应很快，静态电流低。由于稳压器件工作在线性模式下，不需要 MOSFET 完全打开或完全关闭，因此，它的静态电流非常低。LDO 的缺点是输出电压只能低于输入电压，而且它的转换效率随着输入电压和输出电压之差的增加而下降。

LDO 的内部结构如图 1-1 所示。从图 1-1 中可以看到，LDO 电流主通道在其内部是由一个 MOSFET 和一个过流检测电阻组成的，肖特基二极管用作反相保护，输出端 OUT 的分压电阻取出反馈电压去控制流过 MOSFET 的电流的大小，使能端 EN 可从外部控制它的工作状态。LDO 的内部还设置有过流保护、过热保护、信号放大、POWER-OK、基准源等电路，实际上 LDO 已是一多电路集成的 SOC。

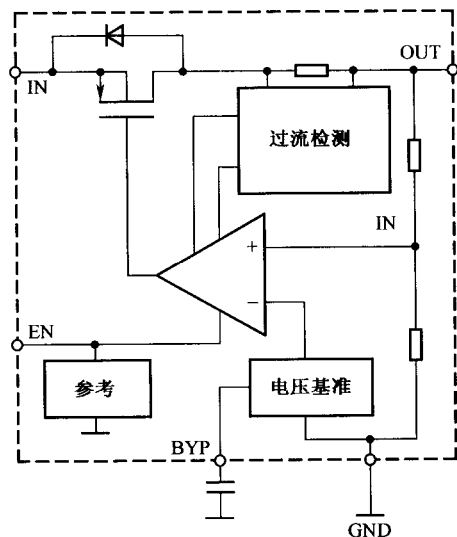


图 1-1 LDO 的内部结构

在典型的 LDO 设计中，无论是漏—源电压 (V_{DS})、栅—源电压 (V_{GS})、栅—漏电压 (V_{GD})、栅—体电压 (V_{GB})，还是上述其他组合电压，都低于输入电压。因此，对于一个简单设计而言，器件的额定电压必须至少等于电池电压。例如，在 1.5V CMOS 中最大电压应该为 1.8V。

LDO 的热量管理能力较差，因为其转换效率近似等于输出电压与输入电压的比值。例如，一个驱动图像处理器的 LDO 输入电源为单节锂离子电池（标称电压为 3.6V），在电流为 200mA 时输出 1.8V 电压，那么转换效率仅为 50%，因此，将缩短电池的工作时间。LDO 虽然有输入与输出电压差较大的缺点，但是当电压差较小时，效率将得以提高。例如，如果电压从 1.5V 降至 1.2V，效率就变成了 80%。

当采用 1.5V 主电源并需要降压至 1.2V 为 DSP 内核供电时，理想的解决方案是采用一个超低压差变换器 (VLDO)，输入电压范围接近 1V，其压差低于 300mV，内部基准接近 0.5V。这样的 VLDO 将电压从 1.5V 降至 1.2V，转换效率为 80%。因为在这一电压上的电流通常为 100mA 左右，那么 30mW 的功率损耗是可以接受的。VLDO 的输出纹波可低于 1mV（峰峰值）。将 VLDO 作为一个开关式降压 DC/DC 变换器的后变换器可确保低纹波。

在高性能的超深亚微米 CMOS 中集成一个外部的系统预调节器，系统预调节器可分成几个更小的内部调节器，这能使这种集成所耗费的面积最小，在单位面积上获得更高的晶体管驱动电流，可以减小导通 FET 的尺寸。而一些更严格的模拟和射频规范约束只适用于一个或两个 LDO。例如，一个 100mA 的 LDO 可以被分成一个 50mA 的数字 LDO、一个 10mA 的 RFLDO 以及一个 40mA 的模拟 LDO。对于数字 LDO，电源抑制和精度并不重要，因此功率 FET 可以减小至线性区域的工作边缘。带 40mA 负载电流的模拟 LDO 变得更容

易补偿。在设计的时候，可以让它具有高电源抑制能力，并让它的输出导通 FET 工作在线性区域的边缘。

当使用几个 LDO 时，在待机模式下的静态电流将增大。例如，在待机状态下，禁用模拟 LDO 与 RFLDO 可以减少相当一部分的静态电流，剩下的数字 LDO 在外部解决方案中仅消耗 50~250mA 电流。可采用自适应偏置 LDO 设计，其设计原理是正反馈一部分输出负载电流到 LDO 误差放大器的差分对的尾电流中，仅当负载电流增加时总的静态电流才会增加。这种结构能实现小于 10mA 的待机电流，同时仍能提供 50mA 的输出电流，并保持良好的瞬态负载调整率。

2. 开关式 DC/DC 升降压变换器

开关式变换器的内部电路包括高压开关器件、低压开关器件、误差放大器、反馈电路、振荡器、用于限流和热关闭的保护电路以及各种逻辑功能电路。它所需要的外部元件包括输入电容器、输出电容器和电感器。这些电容器的电容量一般是 LDO 外部电容器的 10~20 倍。

开关式变换器的优点是效率高，它的输出电压可以低于输入电压，也可以高于输入电压，这取决于用什么样的电路。它的不足之处在于输出电压的纹波较高。开关式变换器的静态电流较大，这是由于在开关式变换器中，在每个周波还需要额外的能量来开启与关闭开关器件。当输入电压和输出电压之差较大时，就可以体现出 PWM 降压变换器效率高的优点了。选用开关频率高的 DC/DC 变换器可以极大地缩小外部电感器和电容器的尺寸和容量，如对于超过 2MHz 的高开关频率，电感器的频率外泄干扰较难避免，设计应用时需要考虑其 EMI 辐射。

在 PFM 开关式变换器中，高压开关的开启时间或者关闭时间是固定的，而它处于关闭或者开启状态的时间是变化的、随机的，这取决于反馈电压。而 PWM 以预先设定的频率开启高压开关，然后改变导通时间进行电压调节。在低负载的情况下，PFM 能够显著地提高电源系统的效率，这是因为开关器件不像使用 PWM 时那样需要频繁地进行切换。PFM 模式的唯一缺点是，它的频率成分是随着负载的变化而改变的，会把随机产生的噪声注入系统，很难对这种噪声进行滤波或屏蔽，以防止它进入到射频部分和 PLL 合成器等敏感电路中。无线系统之所以使用 PWM 方案，是因为振荡器产生的开关频率是固定的，而噪声的频谱是在这个固定频率的基础上形成的。

开关式 DC/DC 升降压变换器按其功能分为开关式 DC/DC 降压 (Buck) 变换器、开关式 DC/DC 升压 (Boost) 变换器和根据锂离子电池的电压从 4.2V 降低到 2.5V 能自动切换的升降压开关式 DC/DC 升降压 (Buck-Boost) 变换器。

降压式 DC/DC 变换器的拓扑结构如图 1-2 所示，这是一种采用恒定频率的电流模式降压结构，内置主开关为 P 沟道 MOSFET，PWM 控制的振荡器频率决定了它的工作效率和使用成本。

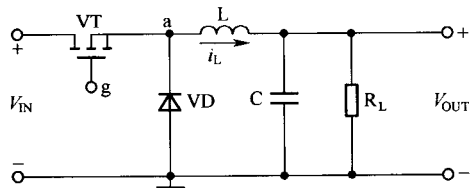


图 1-2 降压式变换器的拓扑结构

图 1-3 给出了开关式 DC/DC 降压变换器应用线路设计方案。其选用 TDK/AVX 品质优良、低 ESR 值的 X7R/X5R 陶瓷电容器；在应用环境温度高或低供电电压和高占空比条件（如降压）下工作时，要考虑器件的散热。高频开关变换器的 PCB 布局、

布线设计需要注意的是：所有的器件必须靠近 DC/DC 变换器，可以把 PCB 按功能分成几个区域， C_{IN} 、 C_{OUT} 的接地线应很短，以降低噪声和干扰； R_1 、 R_2 和 C_F 的反馈器件必须保持靠近反馈端 V_{FB} ，以防噪音；采用大面积地直接连接脚 GND 和 C_{IN} 、 C_{OUT} 的负端。SW 端至 L_1 的距离小于 4mm； C_{OUT} 至 L_1 的距离也小于 4mm；SW、 V_{IN} 、 V_{OUT} 、GND 端的接线必须粗而短。

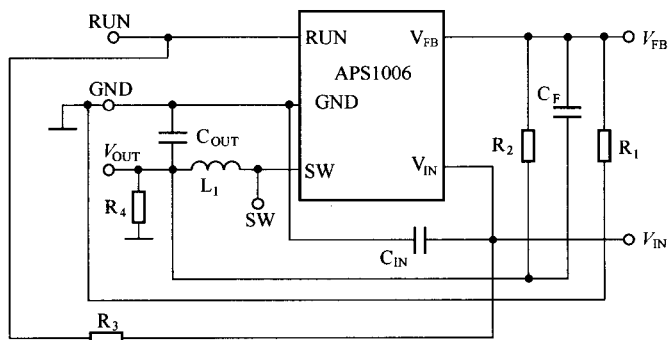


图 1-3 开关式 DC/DC 降压变换器应用线路设计方案

3. 电荷泵

电荷泵是通过开关阵列和振荡器、逻辑电路、比较控制器实现电压提升的，它采用电容器来储存能量。电荷泵无需电感，但需要外部电容器。电荷泵工作于较高的频率，因此可使用小型陶瓷电容（1μF），而使占用空间小，使用成本降低。电荷泵仅用外部电容即可提供 2 倍的输出电压，其损耗主要来自电容器的 ESR（等效串联电阻）和内部开关晶体管的 R_{DS-ON} 。由于电荷泵不使用电感器，因此其 EMI 可以忽略。其输入端噪声可用一只小型电容器滤除。它的输出电压是在工厂生产时精密预置的，有调整能力的电荷泵是通过后端片上 LDO 实现的，因此在设计时可按需要增加电荷泵的开关级数，以便为后端调整器提供足够的电压空间。从电荷泵的内部结构来看，它实际上是一个片上系统。典型的电荷泵电路如图 1-4 所示。

电荷泵是一种无辐射的升压器件，它不使用电感器而使用电容器作为储能器件，在设计应用时需要注意电容器的容量和材质对输出纹波的影响。在固定的工作频率下，小的外部电容容量将使输出纹波增大。输出纹波的大小还与电容器的材料介质有关，在工作频率固定、电容器容量相同的情况下，采用优良的材料介质将有效地降低纹波。选用低 ESR 值的 X7R、X5R 陶瓷电容器是一种比较好的选择。

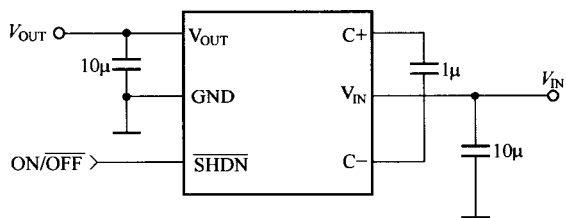


图 1-4 典型的电荷泵电路

4. 白光 LED 的驱动

为便携式电子设备中 LCD 显示器提供背光的光源是系统中耗电量最大的部分，背光源功率越大，便携式电子设备的 LCD 能够发出的光越强。由于功率限制日趋苛刻，所以并不能一味地追求高亮度输出，因此在便携式电子设备中可选用功耗较低的白光 LED 作为 LCD 显示器的背光源。

目前,众多厂商正在开发结构更加紧凑、背光效率更高的白光 LED 驱动电路。由于移动电话继续朝着多功能、智能化的方向发展,目前普通的移动电话一般只采用 2~4 只 LED,但功能更加丰富的双屏照相机需要 7~9 只 LED 才可满足灯光方面的要求。

使用白光的 LED 所遇到的问题是它独特的性能,即发白光的 LED 的正向电压 (V_f) 与流过器件的电流及材料的特性有关,通常白光 LED 的正向电压在 3.2~3.8V 范围内,而锂离子电池在放电时的输出电压在 3.0~4.2V 范围内。这样,如果想用彩色显示器,并且使用直接连接到电池上的一只电流源来带动 LED 是行不通的。另外一个问题是若需要使用几只白光 LED,如一个小的显示器 (<2 英寸) 也需要 3~4 只白光 LED,而智能手机中所用的比较大的显示器往往需要用 6~8 只白光 LED。设计中要求显示器不能出现有的地方亮一些、有些地方暗淡一些的现象,所以,必须对流过 LED 的电流的大小进行严格的匹配,才能使背光均匀。

解决背光均匀问题的一个办法是把白光 LED 并联起来,采用一个电荷泵进行驱动,可以用一只 1.5 倍或者 2 倍的泵电路,或者两者 (1.5 倍和 2 倍) 兼用的混合式泵电路。而每个 LED 用一个匹配的电流源供电,所需要的外接电容器比较小,但会降低整个系统的效率 (47%~80%),这取决于锂离子电池的电压。另一个方法是使用开关式 DC/DC 变换器解决方案,所有的 LED 接成串联电路。这样可以保证电流是匹配的,在工作电压范围相同时,效率可以达到 80%~90%。但需要使用电感器,占用的空间面积增大了。

NS 公司新近推出的 LP3936LED 管理单元共有 3 组可以各自独立控制的驱动器:一组是主驱动器,负责驱动 4 只 LED,主要为尺寸不超过 2.5 英寸的显示器提供背光;另一组是辅助驱动器,负责驱动两只 LED,主要为副显示器或小键盘提供背光;还有一组是 LED 作为装饰灯或闪光灯应用的驱动器。

5. 电池充电管理 IC

锂离子电池充电管理 IC 是一个片上系统 (SOC), 它将读取使能微控制器、2 倍涓流充电控制器、电流环误差放大器、电压环误差放大器、电压比较器、温度检测比较器、环路选择和多工驱动器、充电状态逻辑控制器、状态发生器、多工器、LED 信号发生器、MOSFET、基准电压源、电源开机复位电路、欠压锁定电路、过流/短路保护电路等十多个不同功能的 IC 整合在一个晶元上,是一个高度集成的智能化芯片。

锂离子电池的智能充电过程是涓流充电→恒流充电→恒压充电→电压检测,因此电路设计的关键是要做到充分保护、充分充电、自动监测、自动控制。

6. 锂离子电池保护 IC

锂离子电池保护电路是封装在锂离子电池包内的,它由一个锂离子电池保护 IC 和两个 MOSFET 组成,如图 1-5 所示。锂离子电池保护电路的工作过程是:在正常状态下 VT_1 、 VT_2 均导通,充电电流方向为 $P+ \rightarrow P-$; 过充电时 OC 端由高电位转至低电位, VT_2 关闭,截止充电,实现过充电保护,放电电流方向为 $P- \rightarrow P+$; 过放电时 OD 端由高电位转至低电位, VT_1 关闭,截

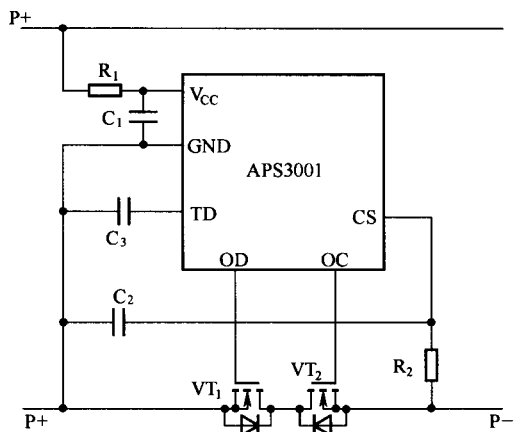


图 1-5 锂离子电池保护电路