

**Power Management Technology
for Portable Electronics**

便携电子设备 电源管理技术

王国华 王鸿麟 羊彦 周晓军 编著
胡民海 许福贵 主审

*Specially Designed
for Engineers and Technicians of Electronics*



西安电子科技大学出版社

<http://www.xduph.com>

便携电子设备电源管理技术

王国华 王鸿麟 羊彦 周晓军 编著
胡民海 许福贵 主审

西安电子科技大学出版社

2004

内 容 简 介

本书详细介绍了在便携电子设备中广泛应用的电源及其管理技术,内容包括:高效率·低压差线性稳压器,直流电压变换技术及其节能管理,阀控铅酸、镍氢和锂离子电池原理及特性,蓄电池充电管理技术,锂离子电池安全管理及容量监控技术,离线式小功率开关稳压电源管理技术,超级电容在便携电子设备中的应用以及手持(摇)发电机供电系统等。

本书可供电子工程技术人员选择适当的电源产品时参考;也可作为高等院校电子专业电源技术的教材,学生们可以从中学到各类电源产品的设计方法;本书还可帮助广大电子爱好者学习制作各类实用电源产品。

图书在版编目(CIP)数据

便携电子设备电源管理技术/王国华等编著. —西安:西安电子科技大学出版社, 2004.1

ISBN 7-5606-1308-X

I. 便… II. 王… III. 移动通信—通信设备—管理 IV. TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 092011 号

策 划 陈宇光

责任编辑 张晓燕

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

<http://www.xduph.com>

E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2004年1月第1版 2004年1月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 25.625

字 数 608千字

印 数 1~4000册

定 价 39.00元

ISBN 7-5606-1308-X/TN·0244

XDUP 1579001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

便携电子设备已经成为我国和全球电子信息市场最有发展前景的新亮点。目前,我国移动电话的数量已经超过2亿只,并且正在以极快的速度迅猛发展,不久将超过固定电话的数量。此外,笔记本电脑、便携式MP3播放机、便携式DVD播放机、互联网接入设备、便携式GPS终端、数码相机、个人数字助理(PDA)等也正在快速发展。

便携电子设备对电源提出了极高的要求。比如,为了延长蓄电池的供电时间,除了提高电源的效率外,还必须降低待机功耗;为了缩小便携式电子设备的体积,除了提高开关电源的频率,增加电源产品的功率密度外,还必须缩小电源管理器件的体积;为了改善便携式电子设备的性能,除了提高电源的稳压精度外,还必须降低电源的噪声。

为了满足便携电子产品的要求,电源技术也得到了迅速发展。近年来,镍氢电池和锂离子电池的容量密度(单位体积的容量)都有显著提高。为了适应便携式电子设备超小型化和超薄化的要求,国内已推出方形、扣式锂离子电池和锂聚合物电池,而且随着需求量的不断增加,镍氢和锂离子电池的价格大幅度下降,锂离子电池的保护功能、容量监控也逐渐完善。便携电子设备采用低压差线性稳压器、高效率DC/DC变换器和具有待机降耗功能的离线式开关电源,可以大大提高效率。

电子工程技术人员对电源管理技术的基本内涵非常清楚,但要对电源管理技术作出明确定义仍较困难。目前比较常用的电源管理技术的定义是:按时间顺序对电子系统的电流和电压进行控制的技术。便携电子设备的迅速增长是电源管理技术发展的主要推动力。新一代电源管理器件必须具有时序控制、占空比控制、故障保护、待机降耗等功能,以便使电源产品具有更高的效率、更大的功率密度、更小的体积、更高的可靠性和更低的成本。

本书由解放军二炮工程学院王国华副教授、中国通信学会通信电源委员会委员王鸿麟教授主编,由西安智海电力科技有限公司总经理胡民海和山西光宇电源有限公司总经理许福贵主审。参加该书编写工作的还有西安交通大学周好斌博士、唐宗华硕士,西安电子科技大学204教研室谭恒研究生,西北工业大学刘小军和羊彦讲师、段晓飞硕士,西安骊山微电子公司尹明工程师,陕西烽火集团赵永忠工程师,解放军二炮工程学院许剑峰和朱晓菲老师,西安理工大学周晓军讲师,解放军西安通信学院毛志杰、孟进、张君梅硕士,解放军通信指挥学院刘成芳、钟利平讲师,解放军73115部队叶超斌硕士,上海德昌微电机有限公司宋泽爽硕士,陕西九州同方公司孙建年博士、王军科硕士,西安电力电子技术研究所王晓生以及北京61416部队许英工程师等。西安智海电力科技有限公司杨厚荣、韩军祥副总经理对该书的出版也做出了许多工作。

由于作者水平有限,书中难免有不当之处,请广大读者批评指正。

作 者
2003年4月

目 录

第 1 章 便携电子设备电源系统的组成与管理	1
1.1 电源管理的基本定义	1
1.2 便携电子设备对电源的要求	1
1.3 便携电子设备电源系统的组成	2
1.3.1 基本组成	2
1.3.2 分布式电源系统	3
1.3.3 交流/直流综合供电系统	4
1.3.4 发电、供电、充电一体化电源系统	5
1.3.5 顺序供电系统	5
第 2 章 高效率低压差线性稳压器	6
2.1 低压差线性稳压器基本原理	6
2.1.1 概述	6
2.1.2 低压差线性稳压器基本电路	6
2.1.3 低压差线性稳压器的主要参数	7
2.1.4 低压差线性稳压器的典型应用	8
2.2 超大 β 值 PNP 串联晶体管单片式低压差线性稳压器	9
2.2.1 基本电路工作原理	9
2.2.2 输入输出电压差	10
2.2.3 接地电流	10
2.2.4 保护功能	10
2.2.5 主要技术参数	12
2.3 超低压差线性稳压器集成电路 MIC5156/7/8	13
2.3.1 概述	13
2.3.2 主要特点	14
2.3.3 主要技术参数	14
2.3.4 引脚排列及功能	15
2.3.5 内部结构	17
2.3.6 基本工作原理和主要功能	19
2.4 集成低压差线性稳压器的基本应用	22
2.4.1 单片式大电流固定输出电压稳压电路	22
2.4.2 单片式大电流可调输出电压稳压电路	23
2.4.3 小电流低噪声固定输出电压稳压电路	24
2.4.4 小电流低噪声可调输出电压稳压电路	25
2.4.5 双路输出低压差线性稳压电路	26
2.4.6 单片式低压差线性稳压器并联电路	27
2.4.7 高输入电压的低压差线性稳压电路	28

2.4.8 单片式低压差稳压器组成的恒流源电路	29
2.5 低压差线性稳压器在计算机中的应用实例	31
2.5.1 概述	31
2.5.2 将 5 V 电压变换为 3.3 V 的低压差线性稳压器	31
2.5.3 多路输出电压可选择的低压差线性稳压电源	33
2.5.4 多路输出顺序供电的代压差线性电源系统	35
2.6 低压差线性稳压器在移动电话中的应用	36
2.6.1 影响蓄电池供电时间的因素	36
2.6.2 延长蓄电池供电时间的电源管理技术	36
2.6.3 互相隔离的多路线性稳压电源	37
2.7 低压差线性稳压器热量管理技术	38
2.7.1 主要热参数	38
2.7.2 热参数与电参数模拟	38
2.7.3 热参数计算	39
2.7.4 大电流线性稳压器散热特性	39
2.7.5 减小线性稳压器功耗的方法	41
2.7.6 表面贴装型线性稳压器热量管理	41
第 3 章 直流电压变换技术及其节能管理	43
3.1 PWM 型 DC/DC 变换器工作原理	43
3.1.1 不隔离式 DC/DC 变换器基本原理	43
3.1.2 隔离式 DC/DC 变换器基本原理	49
3.2 谐振型 DC/DC 变换器工作原理	54
3.2.1 PWM 型直流变换器存在的主要问题及解决办法	54
3.2.2 谐振开关基本原理	56
3.2.3 准谐振 DC/DC 变换器	59
3.3 DC/DC 变换器控制管理电路及应用实例	63
3.3.1 PWM 控制器基本原理	63
3.3.2 内带监控器的高电压电流型 PWM 控制器 HV9606 的应用	65
3.3.3 宽输入电压范围且无电流取样电阻的电流型 PWM 控制器 LTC1871	72
3.3.4 LTC1871 组成的升压和升降压 SEPIC 变换器设计	80
3.3.5 LM2576 系列 PWM 控制开关组成的降压、反相或负升压变换器设计	93
3.3.6 单片 PWM 开关 LM2588 组成的单端反激变换器和升压变换器	101
3.3.7 由单只锂电池供电的升压变换器 MAX848/MAX849 的应用	107
3.3.8 电流型 PWM 控制器 CS-3865C 及其在双路升压变换器中的应用	116
3.3.9 新型同步整流集成控制器 IR1175 在直流变换器中的应用	120
3.3.10 准谐振零电流开关 DC/DC 变换器模块	122
第 4 章 阀控铅酸、镍氢和锂离子电池原理及特性	127
4.1 阀控铅酸电池工作原理	127
4.1.1 阀控铅酸电池的基本结构	127
4.1.2 阀控铅酸电池基本工作原理	128
4.1.3 阀控铅酸电池充电特性与参数设置	128
4.1.4 阀控铅酸电池放电特性与参数设置	133
4.2 密封镍氢电池原理和特性	134

4.2.1	密封镍氢电池的组成材料	134
4.2.2	密封镍氢电池基本工作原理	134
4.2.3	密封镍氢电池的结构	135
4.2.4	密封镍氢电池的主要特性	136
4.2.5	镍氢与镍镉电池比较	138
4.3	锂离子电池原理和特性	140
4.3.1	锂离子电池的组成	140
4.3.2	锂离子电池工作原理	141
4.3.3	锂离子电池的结构和参数	142
4.3.4	锂离子电池的主要工作特性	146
4.3.5	锂离子电池的安全性能	148
4.3.6	锂离子电池与其他蓄电池的比较	150
第5章	蓄电池充电管理技术	152
5.1	锂离子电池组充电管理技术	152
5.1.1	锂离子电池充电状态	152
5.1.2	单体锂离子电池充电控制器 MIC79050 的原理及应用	153
5.1.3	锂离子电池组快速充电控制器 LM3621 及其应用	159
5.1.4	锂离子电池组线性充电控制器 LTC1731 的应用	163
5.1.5	锂离子电池组充电控制器 MAX1679 的应用	165
5.1.6	开关型两只串联锂离子电池组充电控制器 UCC3956 及其应用	169
5.2	镍镉、镍氢、锂离子电池组通用充电管理技术	178
5.2.1	笔记本电脑电池组充电控制器 bq24700 的应用	178
5.2.2	多只串联各类电池快速充电控制器 bq2000 及其应用	184
5.2.3	通用电池充电控制器 MAX846A 的应用	192
5.2.4	通用充电控制器 LM3647 的应用	197
5.3	阀控铅酸蓄电池充电管理技术	205
5.3.1	阀控铅酸蓄电池线性充电控制器 UC3906 的应用	205
5.3.2	开关型阀控铅酸蓄电池充电控制器 UC3909 的应用	213
第6章	锂离子电池安全管理及容量监控技术	221
6.1	单体锂离子电池保护器	221
6.1.1	锂离子电池保护器 SAA1502ATS 及其应用	221
6.1.2	单体锂离子电池保护器 AIC1801/1811 的应用	227
6.1.3	单体锂离子电池保护器 MC33348 的应用	231
6.2	多只串联锂离子电池组保护器	238
6.2.1	两只串联锂离子电池组保护器 UCC3911 及其应用	238
6.2.2	笔记本电脑三只串联锂离子电池组保护器 S-8233A 的应用	242
6.2.3	3只、4只串联锂离子电池组保护器 MAX1894/MAX1924 的应用	249
6.2.4	4只串联锂离子电池组保护电路 MM1294 及其应用	259
6.2.5	3只、4只串联锂离子电池组保护电路 UCC3957 的应用	263
6.3	蓄电池组现有容量监控与显示技术	268
6.3.1	蓄电池容量监控器 bq2090 的工作原理及应用	268
6.3.2	蓄电池充、放电容量计量器 bq2018 的工作原理及应用	274
第7章	离线式小功率开关稳压电源管理技术	286

7.1 离线式开关稳压电源的基本组成和优点	286
7.1.1 离线式开关稳压电源的组成	286
7.1.2 离线式开关稳压电源与其他稳压电源的比较	289
7.2 功率因数校正技术	290
7.2.1 功率因数的基本定义	290
7.2.2 无功功率因数校正的开关电源存在的主要问题	290
7.2.3 功率因数校正的基本方法	291
7.2.4 有源功率因数校正电路基本原理	291
7.2.5 有源功率因数校正控制器 UC3854	292
7.2.6 零电压开关(ZVT)有源功率因数校正电路原理	298
7.2.7 ZVT-PFC 控制器 ML4822	300
7.3 离线式小功率开关稳压电源和充电器实例	303
7.3.1 电流型 PWM 控制器 NCP1200 在小功率通用离线式开关电源中的应用	303
7.3.2 符合待机能耗法规的 PWM 控制器 SG6840/SG6841 组成的离线式开关电源	309
7.3.3 具有待机降耗功能的电流型 PWM 控制器 L5991 组成的开关电源	313
7.3.4 TNY253/254/255 超小型智能开关在离线式开关电源中的应用	320
7.3.5 PFC 和 PWM 组合控制器 ML4803 组成的具有功率因数校正功能的开关稳压电源	327
7.3.6 ADP3810/ADP3811 在离线式开关电源充电器中的应用	336
7.3.7 SG6105 控制器组成的台式计算机离线式开关稳压电源	347
第 8 章 超级电容器在便携电子设备中的应用	355
8.1 概述	355
8.2 超级电容器的基本结构和分类	355
8.2.1 超级电容器的结构	355
8.2.2 超级电容器的分类	356
8.3 碳气凝胶超级电容器	358
8.3.1 A 系列电容器参数	358
8.3.2 B 系列电容器参数	358
8.3.3 P 系列电容器参数	359
8.4 超级电容器主要参数测试	360
8.4.1 容量测试	360
8.4.2 内部电流(自放电电流)测试	360
8.4.3 内阻和等效串联电阻(ESR)测试	361
8.5 超级电容器在电子设备中的应用	362
8.5.1 超级电容器在维持电源中的应用	362
8.5.2 超级电容器在脉冲电源中的应用	363
8.5.3 电池-气凝胶电容器混合供电电源	364
8.5.4 串联超级电容器的电压均衡	365
8.6 气凝胶超级电容器选型	367
8.6.1 主要型号的定义	368
8.6.2 主要特点	368
8.6.3 主要应用	368
8.6.4 气凝胶电容器系统设计	369
8.6.5 各系列气凝胶电容器比较	369

第9章 手持(摇)发电机供电系统	370
9.1 手持(摇)发电机供电系统的组成	370
9.2 交流同步发电机基本原理	371
9.2.1 同步发电机的特点	371
9.2.2 同步发电机的基本类型	371
9.2.3 同步发电机基本工作原理	372
9.3 稀土永磁手摇三相同步发电机	373
9.3.1 结构	373
9.3.2 稀土永磁发电机特点	374
9.3.3 稀土永磁手摇发电机设计要点	374
9.3.4 稀土永磁手摇发电机设计实例	374
9.3.5 电机性能计算	379
9.4 三相桥式整流电路	380
9.4.1 基本工作原理	380
9.4.2 主要参数计算	381
9.5 手持(摇)发电机用高效开关稳压器	382
9.5.1 概述	382
9.5.2 引脚功能	382
9.5.3 主要技术参数	383
9.5.4 基本工作原理	384
9.5.5 设计方法	388
9.5.6 实际应用电路	390
9.6 手持(摇)发电机充电控制器	391
9.6.1 概述	391
9.6.2 主要技术参数	392
9.6.3 引脚功能	393
9.6.4 基本工作原理	394
9.6.5 实际应用电路	399

第 1 章 便携电子设备电源系统的组成与管理

1.1 电源管理的基本定义

电源管理技术从出现至今已有几十年历史了。20 世纪 70 年代国际上发生能源危机后, 电源管理技术受到世界各国电源专家极为广泛的关注。20 世纪 80 年代, 移动电话、笔记本电脑得到推广应用后, 为了延长这些设备中蓄电池的工作时间, 各国专家对电源管理技术进行了深入的研究, 取得许多重大成果。

目前, 电源管理已成为电子系统中必不可少的技术。由于采用了先进的电源管理技术, 移动蜂窝电话、笔记本电脑、遥控电视等产品得以广泛应用。如果不采用完善的电源管理技术, 移动蜂窝电话的通话时间不可能超过两分钟, 笔记本电脑中蓄电池的工作时间也会大大缩短。

“电源管理”这个术语应用于多种不同的场合中, 电子工程技术人员对电源管理的基本内涵都非常清楚, 但若要对“电源管理”作出明确的定义, 尚有一定困难。目前比较常用的定义是: 电源管理是按时间顺序对电子系统的电流和电压进行控制的技术。

便携电子产品的迅速增长是电源管理技术发展的最主要推动力。在便携电子产品中, 要求电源具有更高的效率、更大的功率密度, 还要求电源占有更小的体积并具有更高的可靠性和更低的成本。为了满足这些新要求, 新一代的电源管理器件必须提供时序控制、占空比控制、故障保护、回路调节和开关控制等功能。

1.2 便携电子设备对电源的要求

便携电子设备包括移动蜂窝电话和无绳电话、无线接收机、手持式(或背负式)收发信机、计算器、笔记本电脑、测试设备、医疗设备和由蓄电池供电的其他电子设备等。便携式电子设备对电源的要求有以下几点。

1. 体积小, 重量轻, 效率高

便携电子设备的主要特点是体积小, 重量轻。为了与主机相适应, 这类产品的电源部分所占用的体积必须很小, 重量很轻。为此, 这类产品普遍采用高效率开关型 DC/DC 变换器模块, 将输入电源电压变换为各部分电路所需的不同电压。目前开关型 DC/DC 变换器模块的功率密度非常高, 每立方英寸可达 96 W 以上, 电源变换器模块的效率也可达 90% 以上, 重量也特别轻。为了提高效率, 便携式电子产品中也常常采用超低压差线性稳压器, 这类稳压器的输入输出电压差目前可低到 300 mV 以下。

大部分便携电子设备都采用电池供电。在这类设备中, 电池是最重和最大的元件, 通常电池组约占整个设备体积和重量的 60% 以上。为了减小电池的体积和重量, 目前大多数便携式电子设备都采用能量密度极高的锂离子电池, 最新锂离子电池的能量密度可达 364 Wh/L 和 173 Wh/kg, 远远高于其他各类电池。某些消费类电子产品中, 为了降低成本, 有的也采用无污染的能量密度较高的镍氢电池。

为了提高电池的供电效率, 延长电池的供电时间, 便携电子产品中通常都采用先进的电源管理技术。在待机状态中, 控制系统可切断部分电路的电源, 以便节省电池的能量。比如, 移动电话在长期的监控呼叫期间, 发射网络是不工作的, 因此可以关断这部分电路的电源。又如, 最简单的电子计算器停止运算后, 经过一段时间也可自动关断电源, 以节省电池的能量。

2. 低噪声, 低纹波, 低压差

在移动电话和便携式无线电收发信设备中, 都包含有频率同步压控振荡器、前置放大器、混频器等对电源噪声特别敏感的电路。如果电源电压 U_{CC} 的纹波较大, 频率同步压控振荡器中决定工作频率的部分就会产生受噪声干扰的正弦波输出电压(宽频带信号), 从而影响压控振荡器的工作。

虽然前置放大器和混频器不像压控振荡器那样敏感, 但是如果电源电压的纹波较大, 也会大大降低接收和发射性能。

为了保证便携式通信设备“洁净”地接收和发射, 必须提供非常“纯净”的直流电源电压。为此, 通信设备的各部分通常都采用低压差线性稳压电源(LDO)供电。

1.3 便携电子设备电源系统的组成

1.3.1 基本组成

便携电子设备电源系统的基本组成如图 1-1 所示, 主要包括两大部分: 电池管理系统和电压变换电路。电池管理系统由蓄电池组、充电电路、锂电池保护电路、电池容量监控电路组成。便携式电子设备中, 常用的电池有镍氢电池和锂离子电池。采用锂离子电池

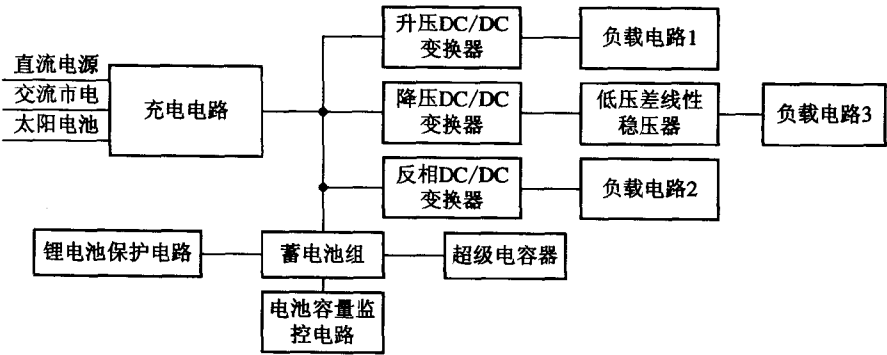


图 1-1 便携式电子设备电源系统的基本组成

组时,还必须采用锂电池保护电路,以防止锂离子电池组因过充电、过放电、过电流、过热而损坏。实际应用中,还需要实时掌握电池组的现有容量,因此还必须通过电流取样电阻 R_{sen} 取出蓄电池组的充放电电流,从而计算充入蓄电池的电量和蓄电池组放出的电量,根据二者之差即可估算电池组的现有容量。为了满足各种电池不同的充电要求,便携式电子设备中通常还配有充电器,该充电器可由外部直流电源供电,也可由交流适配器供电。有些便携式电子产品还配备有独立的充电器。

在某些具有突发模式的便携式电子设备中,电源系统必须提供大电流脉冲。比如,移动电话在发射状态下,电源输出电流可高达几安培。为了实现大电流脉冲供电,蓄电池组两端常常并联超级电容器。

便携电子设备往往需要多种工作电压,常用的电压有 1.8 V、2.5 V、3.3 V、5 V、12 V 等,这些电压不可能都由电池组提供。电池组只能提供一种电压,比如移动电话只能采用 3.6 V 锂电池组,其他各种电压必须通过 DC/DC 变换器提供。为了提高电压,通常可采用升压 DC/DC 变换器,功率较小时,也可以用充电泵;需要降低电压时,可采用降压 DC/DC 变换器。有时,还需要改变电压的极性,比如从正电压变为负电压,此时必须采用反相 DC/DC 变换器。

便携电子设备对某一路电压的精度和纹波要求较高时,在直流变换器的输出端还必须加入低压差线性稳压器。

1.3.2 分布式电源系统

1. 低压差线性稳压器组成的分布式电源系统

许多便携通信设备采用分布式电源系统,其组成如图 1-2 所示。

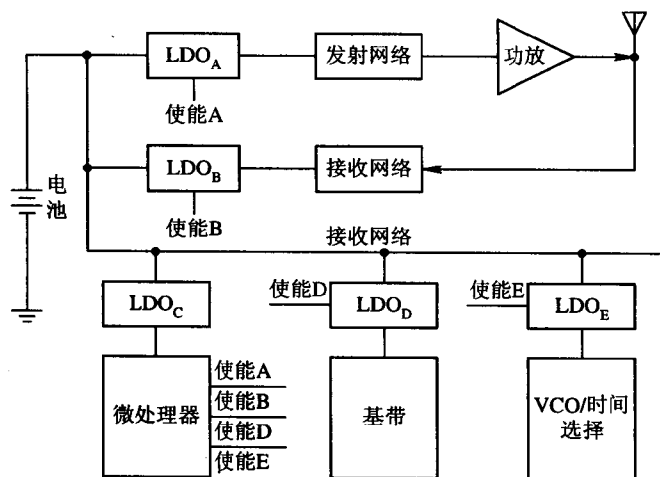


图 1-2 便携通信设备采用的分布式电源系统

便携通信设备均由蓄电池组供电。发射网络和功率放大器由低压差线性稳压器 LDO_A 供电,接收网络由 LDO_B 供电,微处理器由 LDO_C 供电,基带、压控振荡器(VCO)/时间选择等电路分别由 LDO_D 和 LDO_E 供电,这样可以保证为各部分电路提供不同的工作电压,

而且还可以防止各部分电路之间产生干扰, 保证通信设备稳定工作。为了节省电池的能量, 延长电池供电时间, 在工作过程中, 对于暂时停止工作的部分电路, 微处理器可通过使能脚关断相应的低压差稳压器, 比如在监听呼叫期间, 可以关断给发射网络和功率放大器供电的 LDO_A。

2. 降压变换器和低压差线性稳压电源组成的分布式供电系统

为了提高电源系统的效率, 便携式电子设备可采用开关型降压变换器与低压差线性稳压器组成的分布式供电系统, 如图 1-3 所示。

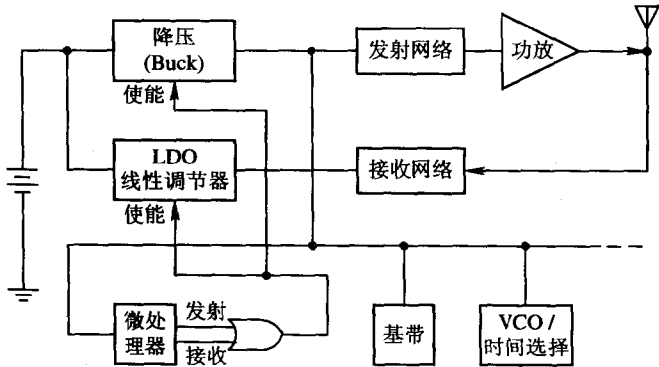


图 1-3 降压变换器与 LDO 组成的分布式供电系统

发射网络、功率放大器(功放)、微处理器、基带、压控振荡器(VCO)等均由效率较高的开关型降压变换器供电, 只有接收网路由低压差线性稳压电源供电。该系统只需要一个 LDO, 这样不仅可以节省电源系统的成本, 还可提高电源系统的效率。在待机状态下, 通过使能输入信号关断降压变换器, 只由 LDO 给接收网路供电; 在发射状态下, 通过使能脚可以迅速使降压变换器启动工作。

1.3.3 交流/直流综合供电系统

某些便携电子设备既可以在野外工作, 也可在室内工作。在野外工作时, 必须由蓄电池供电; 在室内工作时, 为了延长蓄电池的使用寿命, 通常都由交流电源供电。交流/直流综合供电系统的组成如图 1-4 所示。交流市电加到开关式稳压电源输入端。在室内工作时, 稳压电源可以直接给负载供电, 同时, 该稳压电源经充电控制电路还可给各类蓄电池充电, 保证野外工作时蓄电池具有充足的电量。

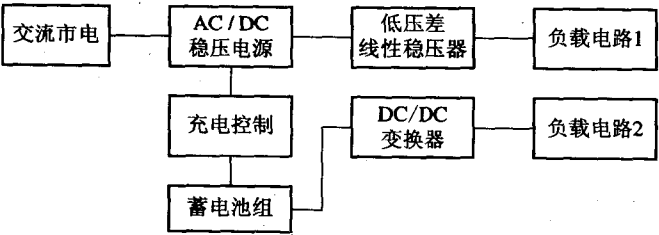


图 1-4 交流/直流综合供电系统

1.3.4 发电、供电、充电一体化电源系统

某些便携军用电子装备必须在野战条件下长期工作,由于蓄电池的容量有限,因而还必须配备手摇(或手持式)发电机。为了提高效率,简化结构,这类发电机目前都采用永磁三相交流发电机。手摇发电机输出的三相交流电经三相整流电路和 DC/DC 变换器后可对负载供电,经整流的三相电压也可通过充电控制电路对蓄电池组充电。发电、供电、充电一体化电源系统的组成如图 1-5 所示。

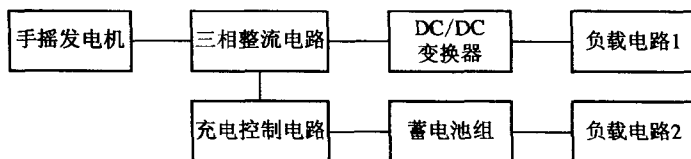


图 1-5 发电、供电、充电一体化电源系统

1.3.5 顺序供电系统

在某些带有微处理器的设备中,常常要求先给微处理器供电,待微处理器正常工作后,再给其他部分供电;同时还要求输入电源中断时,微处理器的电源经较长时间延时后再中断。为满足以上要求,可采用顺序供电系统。

顺序供电系统的组成如图 1-6 所示。蓄电池经低压差线性稳压器 LDO_1 给微处理器供电。 LDO_1 输出电压建立后, LDO_2 和 LDO_3 才能得到使能信号。因此,只有在微处理器正常工作后,其他部分才能开始工作。蓄电池放电(或电压中断)完毕, LDO_2 和 LDO_3 立即停止供电,但是由于超级电容器贮存有较大的能量,因而可维持微处理器正常工作,直至超级电容器放完电,微处理器才停止工作。

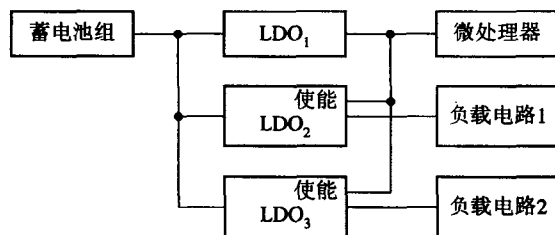


图 1-6 顺序供电系统

第 2 章 高效率低压差线性稳压器

2.1 低压差线性稳压器基本原理

2.1.1 概述

便携电子设备不管是由交流市电经过整流(或交流适配器)后供电,还是由蓄电池组供电,工作过程中,电源电压都将在很大范围内变化。比如单体锂离子电池充足电时的电压为 4.2 V,放完电后的电压为 2.3 V,变化范围很大。各种整流器的输出电压不仅受市电电压变化(允许变化 $\pm 20\%$)的影响,还受负载变化的影响。为了保证供电电压稳定不变,几乎所有的电子设备都采用稳压器供电。小型精密电子设备还要求电源非常干净(无纹波、无噪声),以免影响电子设备正常工作。近年来,各种电子设备几乎都采用效率非常高的开关稳压电源供电。这种电源的纹波电压较大。为了满足精密电子设备的要求,应在开关电源的输出端加入线性稳压器,以实现有源噪声滤波。

2.1.2 低压差线性稳压器基本电路

低压差线性稳压器的基本电路如图 2-1 所示,该电路由串联调整管 V_T 、取样电阻 R_1 和 R_2 、比较放大器 A 组成。

取样电压加在比较放大器 A 的同相输入端,与加在反相输入端的基准电压 U_{ref} 相比较,两者的差值经放大器 A 放大后,控制串联调整管的压降,从而稳定输出电压。当输出电压 U_{out} 降低时,基准电压与取样电压的差值增加,比较放大器输出的驱动电流增加,串联调整管压降减小,从而使输出电压升高。相反,若输出电压 U_{out} 超过所需的设定值,比较放大器输出的驱动电流减小,从而使输出电压降低。供电过程中,输出电压校正连续进行,调整时间只受比较放大器和输出晶体管回路反应速度的限制。输出电压 U_{out} 与输入电压 U_{in} 之差的最小值 $U_{DO(min)}$ 等于调整管的最小饱和压降 U_{sat} 。该压降通常为 0.3~0.6 V。

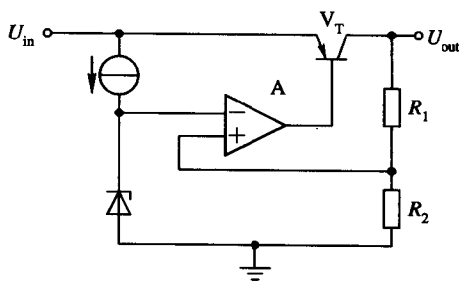


图 2-1 低压差线性稳压器的基本电路

串联调整管也可以采用 MOSFET,基本电路如图 2-2 所示。图 2-2(a)所示为采用 P 沟道 MOSFET 作串联调整管的线性稳压器,该稳压器中,输出电压与输入电压之

差的最小值 $U_{DO(min)}$ 等于串联调整管 V_{T1} 的导通电阻 $R_{DS(on)}$ 与输出电流 I_{out} 的乘积, 即 $U_{DO(min)} = R_{DS(on)} \times I_{out}$ 。由于许多 P 沟道 MOSFET 的导通电阻 $R_{DS(on)}$ 非常小, 所以当输出电流较小时, 这种线性稳压器的输出输入电压差很小。与双极型 PNP 晶体管相比, P 沟道 MOSFET 的管芯面积较大, 因此价格较高。此外, 当输入电压噪声干扰较大或输出电流变化范围较宽时, P 沟道 MOSFET 要求的驱动电流较大。

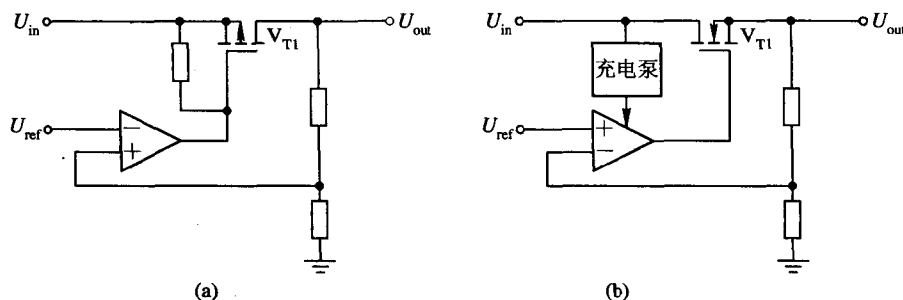


图 2-2 采用 MOSFET 的低压差线性稳压器

采用 N 沟道 MOSFET 作串联调整管的低压差线性稳压器如图 2-2(b)所示。在该稳压器中, 最小输出输入电压差 U_{DO} 也等于 V_{T1} 的导通电阻 $R_{DS(on)}$ 与输出电流 I_{out} 的乘积。与 P 沟道相比, N 沟道 MOSFET 的管芯面积较小, 输出电流较大时, 线性稳压器的成本较低。这种稳压器的控制电路较复杂, 所用分立元件较多, 现在通常直接使用集成控制电路。

应当说明, 实际的线性稳压器还应当具有许多其他的功能, 比如负载短路保护、过压关断、过热关断、反接保护等, 并且当输出电压超出规定范围时, 还应当发出故障指示信号。

2.1.3 低压差线性稳压器的主要参数

1. 输出电压

输出电压是低压差线性稳压器最重要的参数, 也是电子设备设计者选用稳压器时首先应考虑的参数。低压差线性稳压器有固定输出电压和可调输出电压两种类型。固定输出电压稳压器使用比较方便, 而且由于输出电压是经过生产厂家精密调整的, 所以稳压精度很高。但是其设定的输出电压数值均为常用电压值, 不可能满足所有的应用要求。可调输出电压稳压器的输出电压可通过外接元件调整, 能够满足所有的应用要求, 但是外接元件数值的变化将影响稳压精度。

2. 最大输出电流

用电设备的功率不同, 要求稳压器输出的最大电流也不相同。通常, 输出电流越大的稳压器成本越高。为了降低成本, 在多只稳压器组成的供电系统中, 应根据各部分所需的电流值选择适当的稳压器。

3. 输出输入电压差

输出输入电压差是低压差线性稳压器最重要的参数。在保证输出电压稳定的条件下, 该电压差越低, 线性稳压器的性能越好。比如, 5.0 V 的低压差线性稳压器, 只要输入

5.3 V 电压,就能使输出电压稳定在 5.0 V。

4. 接地电流

接地电流 I_{GND} 是指串联调整管输出电流为零时,输入电源提供的稳压器工作电流。该电流有时也称为静态电流,但是采用 PNP 晶体管作串联调整元件时,这种习惯叫法是不正确的。通常较理想的低压差稳压器的接地电流很小。

5. 效率

所有电子设备的效率都是由输出功率与输入功率之比定义的。通常,线性稳压器的接地电流很小,稳压器输出电流与输入电流很接近,因此,效率 η 近似为输出电压与输入电压之比,即

$$\eta = \frac{U_{\text{out}}}{U_{\text{in}}} \times \frac{I_{\text{out}}}{I_{\text{in}}} \approx \frac{U_{\text{out}}}{U_{\text{in}}}$$

在超低压差线性稳压器中,输入电压与输出电压之差非常低。串联调整管的功耗 $((U_{\text{in}} - U_{\text{out}}) \times I_{\text{out}})$ 很小。低压差线性稳压器的接地电流 I_{GND} 非常小,控制电路的功耗 $(U_{\text{in}} \times I_{\text{GND}})$ 也非常低,输出功率接近输入功率,因此效率较高。在普通线性稳压器中,输入输出电压之差很高,串联调整管的功耗较大,效率通常只有 50% 左右。

2.1.4 低压差线性稳压器的典型应用

低压差线性稳压器的典型应用如图 2-3 所示。图 2-3(a) 所示电路是一种最常用的 AC/DC 电源,交流电源电压经变压器后,变换成所需的电压,该电压经整流后变为直流电压。在该电路中,低压差线性稳压器的作用是:在交流电源电压或负载变化时稳定输出电压,抑制纹波电压,消除电源产生的交流噪声。

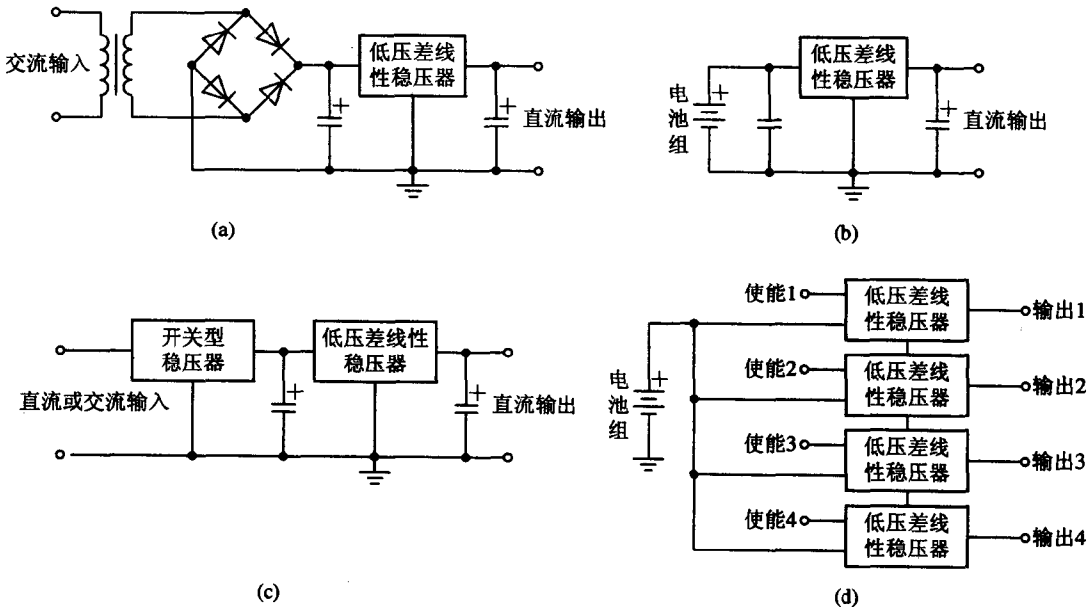


图 2-3 低压差线性稳压器典型应用