

现代电源设计与应用系列丛书

现代 通信电源技术 及应用

主 编 徐小涛
副主编 吴延林

 北京航空航天大学出版社

现代电源设计与应用系列丛书

现代通信电源技术及应用

主 编 徐小涛

副主编 吴延林

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书紧密跟踪现代通信电源技术的最新发展,依据国内外通信电源技术的发展状况,深入浅出地介绍了几种典型的通信电源技术的基本原理、技术体制和功能结构,同时依据国内外通信电源技术的应用实践,详细介绍了典型通信电源技术的应用优势和工程实践。

本书包括现代通信电源技术概述、油机电源系统、开关电源、UPS电源、传统蓄电池技术及其应用、绿色电源技术及其应用、以太网供电、通信电源管理以及通信电源站的设计与配置等内容。

本书力求内容的科学性、先进性、系统性和实用性,可作为从事通信电源技术应用的工程技术人员、管理人员、电信运营商和设备制造商的技术参考书或培训教材,也可作为教材或参考资料供高等工院校通信专业、电源专业及相关专业高年级本科生使用。

图书在版编目(CIP)数据

现代通信电源技术及应用/徐小涛主编. —北京:北京航空航天大学出版社,2009.7

ISBN 978-7-81124-813-5

I. 现… II. 徐… III. 通信设备—电源 IV. TN86

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 110332 号

© 2009,北京航空航天大学出版社,版权所有。

未经本书出版者书面许可,任何单位和个人不得以任何形式或手段复制本书内容。
侵权必究。

现代通信电源技术及应用

主 编 徐小涛

副主编 吴延林

责任编辑 张军香 刘福军 朱红芳

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100191) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail:emsbook@gmail.com

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:23 字数:589 千字

2009 年 7 月第 1 版 2009 年 7 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 978-7-81124-813-5 定价:39.00 元

前 言

随着国内外信息化建设步伐的加快,现代通信电源技术作为通信设备稳定运行的基础,在国内外得到了越来越广泛的关注,并在相关领域得到广泛的应用。

为了适应现代通信电源技术的发展,满足从事通信电源技术研究、管理、服务、教学的工程技术人员了解现代通信电源技术发展的需要,作者专门编写了《现代通信电源技术及应用》一书。

全书共分为9章。第1章主要介绍现代通信电源技术的基本概念、技术特点、应用基本常识、基本功能和发展历程,综述了几种应用比较广泛的直流通信电源应用模式,并对通信电源技术的应用现状和发展趋势进行了介绍。第2章主要介绍柴油发电机组和燃气轮机发电机组这两种比较典型的油机发电技术,系统介绍了这两种典型的油机电机组的发展历程、技术特点、组成结构以及使用和维护,并对这两种典型油机发电技术的应用优势进行了介绍。第3章简要介绍开关电源技术的发展历程,系统介绍了开关电源技术的电路结构、关键元器件,分析了开关电源的工作原理和应用优势,并对以单片开关电源为代表的数字化开关电源技术和工程应用进行了介绍。第4章解释UPS电源技术的概念,简要介绍了UPS电源技术的类别,系统阐述了UPS电源技术的基本原理、电路结构、运行方式,并以UPS的选型、使用和维护为依托探讨了UPS电源技术在通信电源领域的应用。第5章主要介绍铅蓄电池和镍镉蓄电池这两种应用比较广泛的传统蓄电池技术,系统介绍了铅蓄电池和镍镉蓄电池的电源特性、工作原理和使用维护,重点探讨了应用最为广泛的阀控式铅酸蓄电池在通信电源领域的应用。第6章简要介绍新型绿色电源技术的发展,系统介绍了镍氢电池、锂电池、砵电池以及太阳能电池的工作原理和应用维护,并以通信基站绿色电源供给典型应用为例介绍了绿色电源系统在通信电源领域的工程应用实践。第7章主要介绍基于IEEE 802.3af标准的以太网供电技术,系统介绍了以太网供电系统的组成结构,探讨了以太网供电模式,并以以太网供电的应用优势为依托,以典型的以太网供电解决方案为范例,介绍了以太网供电技术的工程应用。第8章简要介绍现代通信电源管理技术的发展、通信电源设备的维护,系统描述了以动力环境监控系统为代表的新型通信电源管理技术,并以电源管理总线技术为基础,探讨了以手机为代表的便携式通信设备的电源管理策略。第9章介绍典型通信电源站的结构组成,探讨了通信电源站的设备配置和选择,并以通信基站电源的技术为基础介绍了通信电源的节能减排应用。

本书由徐小涛主编,吴延林参与编写。本书得到了徐静、徐浩、吴攀、肖婷、李文娟、吴金芳、李进军、潘侃杰、赵燕华、颜丽丽、柯珣、舒学云、徐武文、叶炼、刘武云、舒

曼、高俊文等,在此向他们表示衷心的感谢。

在编写过程中,得到了艾默生公司、中兴通讯、摩托罗拉、烽火通信、IBM、创联电源、环宇电源、瑞达电源、华为、许继电器、英特尔和普天通信等企业的鼎力支持,他们为这本书的编写工作提供了大量宝贵的素材和翔实的应用实例。

北京航空航天大学出版社的董立娟老师为本书的出版付出了辛勤的劳动,北京航空航天大学出版社对本书的出版给予了大力的支持,在此一并表示感谢。

由于现代通信电源技术仍在不断发展之中,新的标准和技术应用不断涌现,加之作者水平有限,编写时间仓促,因而本书难免存在错漏之处,恳请各位专家和读者指正。

作 者

2009年4月于武汉

目 录

第 1 章 现代通信电源概述	1
1.1 通信电源基本概念	1
1.1.1 现代通信对通信电源的要求	1
1.1.2 现代通信电源技术的应用比较	3
1.2 通信电源工程的基本常识	7
1.2.1 通信电源工程常用术语	7
1.2.2 通信电源的选择.....	11
1.2.3 通信电源性能指标.....	11
1.3 通信电源系统的构成.....	13
1.3.1 通信电源的可用度要求.....	13
1.3.2 通信电源系统的基本结构.....	14
1.3.3 通信电源架构.....	18
1.3.4 电源站的供、配电方式	20
1.4 通信电源的分类.....	21
1.4.1 交流电源供电系统分类.....	21
1.4.2 通信直流稳压电源的分类.....	26
1.5 通信电源技术的发展.....	29
1.5.1 通信电源技术的发展现状.....	29
1.5.2 通信电源技术的发展趋势.....	34
1.5.3 通信电源产品的发展.....	36
第 2 章 油机电源系统	39
2.1 柴油发电机组.....	39
2.1.1 柴油发电机的分类.....	39
2.1.2 柴油发电机的结构和原理.....	39
2.1.3 柴油发电机的使用.....	42
2.1.4 柴油发电机组的保养.....	45
2.1.5 柴油发电机组的选购.....	46
2.2 燃气轮机发电机组.....	48
2.2.1 燃气轮机发电机的产生与发展.....	48
2.2.2 燃气轮机的分类和组成.....	50
2.2.3 燃气轮机发电机组的应用优势.....	51

第3章 开关电源	54
3.1 概 述	54
3.1.1 开关电源技术的发展	54
3.1.2 开关电源的应用优势	55
3.1.3 开关电源在通信领域的发展现状及趋势	56
3.2 开关电源的分类	60
3.3 开关电源电路结构	61
3.3.1 开关电源基本电路	61
3.3.2 开关电源保护电路	66
3.4 功率电子器件	70
3.4.1 功率电子器件及其应用要求	70
3.4.2 主要功率电子器件	70
3.4.3 功率场效应管	72
3.4.4 绝缘栅双极型晶体管	74
3.5 开关电源的工作原理	75
3.5.1 开关电源的基本控制原理	75
3.5.2 开关电源的电源基准	77
3.5.3 各类拓扑结构电源分析	78
3.5.4 谐振式开关电源	81
3.6 DC-DC 变换器的建模应用	86
3.6.1 DC-DC 变换器的建模方法	86
3.6.2 DC-DC 变换器的离散模型	87
3.6.3 直流分布式开关电源的建模应用	88
3.7 开关电源的优势技术	90
3.7.1 均流技术	91
3.7.2 功率因数控制技术	94
3.7.3 开关电源的智能化技术	99
3.7.4 软开关技术	99
3.8 开关整流器工作原理	104
3.8.1 开关电源待机效率的提高方法	104
3.8.2 开关电源的抗干扰设计应用	109
3.8.3 开关电源的选用	114
3.8.4 开关电源并联特性及均流方法	115
3.8.5 开关电源的电磁兼容	121
3.9 单片开关电源	125
3.9.1 集成开关电源的发展简况	125
3.9.2 TOPSwitch-II 系列三端单片开关电源	126
3.9.3 TinySwitch 系列四端开关电源	127

3.9.4 MC33370 系列五端单片开关电源	128
3.10 数字信号处理器在直流通信电源设计中的应用	129
第 4 章 UPS 电源	132
4.1 UPS 电源概述	132
4.1.1 UPS 的概念	132
4.1.2 UPS 的发展趋势	133
4.2 UPS 分类	135
4.3 UPS 的基本功能	140
4.4 UPS 的结构	142
4.4.1 单机 UPS 的系统结构	142
4.4.2 冗余 UPS 的系统结构	145
4.5 UPS 的运行方式	150
4.5.1 正常运行方式	150
4.5.2 电池运行方式	154
4.5.3 旁路运行方式	154
4.5.4 维护旁路运行方式	156
4.6 UPS 蓄电池的使用与维护	157
4.6.1 UPS 蓄电池的选择	157
4.6.2 UPS 蓄电池的正确使用	159
4.6.3 UPS 备用电池的维护	161
4.7 UPS 的应用	162
4.7.1 UPS 电源的串并联使用	162
4.7.2 UPS 系统电池的优化配置	164
4.7.3 UPS 的蓄电池的配置与选择	165
4.7.4 UPS 安装	166
4.7.5 UPS 测试	168
4.8 UPS 应用选型	174
第 5 章 蓄电池技术及其应用	179
5.1 铅蓄电池的分类及结构	179
5.1.1 铅蓄电池的分类	179
5.1.2 铅蓄电池的结构	180
5.2 铅蓄电池的工作原理	182
5.2.1 阀控式铅酸蓄电池的基本原理	182
5.2.2 阀控式铅酸蓄电池的充放电控制	183
5.2.3 阀控式铅酸蓄电池的内阻测量	184
5.2.4 基于内阻的阀控式铅酸蓄电池剩余容量监测	187
5.3 铅蓄电池技术特性	188

5.3.1	蓄电池的充电	188
5.3.2	蓄电池的放电	191
5.4	铅蓄电池的使用	194
5.4.1	蓄电池容量的选择	194
5.4.2	蓄电池组的组成计算	196
5.4.3	影响蓄电池容量的因素	196
5.5	铅蓄电池的维护与更换	197
5.5.1	铅蓄电池的存储与启用	197
5.5.2	蓄电池的延寿保养	199
5.5.3	蓄电池的常见故障	203
5.5.4	蓄电池的技术状态检测	205
5.5.5	蓄电池组落后单节的检测	207
5.6	铅蓄电池在通信工程中的应用	211
5.6.1	通信基站蓄电池的安装	211
5.6.2	移动通信基站蓄电池的维护	212
5.6.3	移动通信基站直流负载电流与蓄电池容量配比	215
5.6.4	局用阀控式铅酸蓄电池核对性放电及容量试验方法	216
5.7	铅蓄电池的发展方向	217
5.8	镍镉电池	218
5.8.1	镍镉电池的分类	218
5.8.2	镍镉电池的工作原理	221
5.8.3	镍镉电池的维护	224
5.8.4	镍镉电池常见故障处理	228
第6章	绿色电源技术及其应用	229
6.1	新型绿色电源技术的发展	229
6.2	镍氢电池	230
6.2.1	镍氢电池的工作原理	230
6.2.2	镍氢电池主要特性	231
6.2.3	镍氢电池的保养	233
6.3	锂电池	234
6.3.1	锂电池的发展	234
6.3.2	锂电池标准的发展	235
6.3.3	锂电池的工作原理	243
6.3.4	锂电池的应用与保养	245
6.3.5	单片机在锂电池管理中的应用	247
6.4	便携式电子设备电池技术	251

6.4.1 锂离子/聚合物电池充电算法	251
6.4.2 锂离子/聚合物电池充电方案	252
6.5 钒电池的应用	253
6.6 太阳能电源	256
6.6.1 太阳能电池的分类	256
6.6.2 太阳能电源系统的组成	258
6.6.3 太阳能在通信电源工程中的应用	262
6.7 通信基站绿色电源供给典型应用	264
第7章 以太网供电	269
7.1 概 述	269
7.2 以太网供电的应用优势	270
7.3 以太网供电系统的组成结构	271
7.3.1 供电设备(PSE)	271
7.3.2 受电设备(PD)	277
7.4 以太网供电模式	280
7.5 电源管理芯片在以太网供电中的应用	282
7.6 以太网供电典型应用方案	285
7.6.1 烽火网络以太网供电解决方案	285
7.6.2 SYSTIMAXSCS以太网供电解决方案	286
第8章 通信电源管理	289
8.1 通信电源的管理概述	289
8.2 通信整流器的运行要求	290
8.3 通信机房电源设备维护管理方法	293
8.4 电源监控系统	296
8.4.1 电源监控系统的作用与特点	296
8.4.2 电源监控系统的分类	296
8.5 动力环境监控系统	298
8.5.1 动力环境监控系统的发展	298
8.5.2 动力环境监控系统设计原则及实现方式	301
8.5.3 动力环境监控系统的组成结构	302
8.6 移动通信基站电源设备管理	303
8.6.1 通信电源设备维护的要素	304
8.6.2 通信机房的节能降耗管理	306
8.7 通信电源设备维护的内容	310
8.7.1 日常维护	310
8.7.2 机房管理	314
8.7.3 巡 检	315

8.8	数字化电源管理技术	318
8.9	电源管理总线	319
8.9.1	PMBus 规范	320
8.9.2	PMBus 规范的应用	322
8.10	手机电源管理	323
8.10.1	手机整体电源管理技术	323
8.10.2	典型 3G 手机系统的电源管理策略	326
第 9 章	通信电源站的设计与配置	330
9.1	通信电源系统容量配置计算	330
9.2	交直流供电系统电力线的选配	331
9.3	接地系统	334
9.3.1	通信电源接地系统的组成和作用	334
9.3.2	通信电源的接地分类	336
9.3.3	接地参数的测量	338
9.4	地线干扰与抑制	340
9.5	通信电源站的防雷	343
9.5.1	通信设施接地和防雷的基本原则	343
9.5.2	雷击对通信基站电源设备的危害及预防措施	347
9.6	通信基站电源的节能技术	349
9.6.1	典型基站的能耗模型与级联效应	349
9.6.2	通信电源设备节能	351
9.6.3	通信电源休眠节能	351
9.7	户外节能减排电源的应用	352
参考文献	357

第1章 现代通信电源概述

1.1 通信电源基本概念

通信电源作为通信系统的核心部分之一,在通信工程中具有无可比拟的重要地位。它包含的内容非常广泛,不仅包含常用的开关电源、UPS电源、通信用蓄电池和油机发电机组,还包括太阳能电池等绿色通信电源。通信电源的核心基本一致,都是以功率电子为基础,通过稳定的控制环设计,再加上必要的外部监控,最终实现能量的转换和过程的监控。现代通信设备需要稳定、可靠的电源设备来提供电源,电源的安全、可靠是保证通信系统正常运行的重要条件。

1.1.1 现代通信对通信电源的要求

现代通信设备由于其自身的工作特性,对通信电源的保障提出了越来越高的要求。

(1) 可靠性高

一般的通信设备发生故障影响面较小,是局部性的。如果电源系统发生直流供电中断故障,则影响几乎是灾难性的,往往会造成整个电信局、通信枢纽的通信中断。数字通信设备则对电源的要求更高,电源电压即使有瞬间的中断也不允许。

在数字程控交换局中,信息存在存储单元中,虽然重要的存储单元都是双重设置的,若电源中断,两套并行工作的存储器同时丢失信息,则信息需从磁带、软盘等重新输入程序软件,通信将长时间中断。因此,通信电源系统需要在各环节多重备份,配置“多路、多种、多套”的备用电源。在暂时还没有条件达到“三多”配置的地方,至少应有后备电池,以保证通信设备电源的稳定供给。

(2) 稳定性好

各种通信设备都要求电源电压稳定,不允许超过容许的变化范围,尤其是计算机控制的通信设备,数字电路工作速度高、频带宽,对电压波动、杂音电压、瞬变电压等非常敏感。所以,供电系统必须有很好的稳定性。

(3) 效率高

能源是宝贵的,电信设备在耗费巨资完成设备投资后,日常的费用支出中,电费是一笔比重很大的开支。尤其随着通信容量的增大,一个局的各种设备用上百、上千安培的用电量已是司空见惯,这时效率问题就特别突出。

这就要求电源设备(主要指整流电源)应有较高转换效率,即要求电源设备的自耗要小。

(4) 低压、大电流,多组供电电压需求

低压、大电流,多组供电电压需求增多,功率密度大幅度提升,供电方案和电源应用方案设计呈现出多样性。

(5) 模块化

模块化为设备自由组合扩容、互为备用、提高安全系数提供了保障。模块化有两方面的含义,一是指功率器件的模块化,二是指电源单元的模块化。实际上,由于频率的不断提高,致使引线寄生电感、寄生电容的影响愈加严重,对器件造成更大的应力(表现为过电压、过电流毛刺)。为了提高系统的可靠性,而把相关的部分做成模块。把开关器件的驱动、保护电路也装到功率模块中去,构成了“智能化”功率模块(IPM),这既缩小了整机的体积,又方便了整机设计和制造。

多个独立的模块单元并联工作,采用均流技术,所有模块共同分担负载电流,一旦其中某个模块失效,其他模块再平均分担负载电流。这样,不但提高了功率容量,在器件容量有限的情况下满足了大电流输出的要求,而且通过增加相对整个系统来说功率很小的冗余电源模块,极大地提高了系统可靠性。即使出现单模块故障,也不会影响系统的正常工作,而且还为修复提供了充分的时间。

现代电信要求高频开关电源采用分立式的模块结构,以便于不断扩容、分段投资,并降低备份成本。不能像习惯上采用的1+1的全备用(备份了100%的负载电流),而是要根据容量选择模块数 N ,配置 $N+1$ 个模块(即只备份了 $1/N$ 的负载电流)即可。

(6) 实现集中监控

现代电信运行维护体制要求动力机房的维护工作通过远程监测与控制来完成。这就要求电源自身具有监控功能,并配有标准通信接口,以便与后台计算机或与远程维护中心通过传输网络进行通信,交换数据,实现集中监控。从而提高维护的及时性,减小维护工作量和人力投入,提高维护工作的效率。

(7) 自动化、智能化

现代通信设备要求电源能进行电池自动管理,故障自诊断,故障自动报警等,自备发电机应能自动开启和自动关闭。

(8) 小型化

现在各种通信设备的日益集成化、小型化,要求电源设备也相应地小型化,作为后备电源的蓄电池也应向免维护、全密封、小型化方面发展,以便将电源、蓄电池随小型通信设备布置在同一个机房,而不需要专门的电池室。

(9) 采用新的供电方式

相应于电源小型化,供电方式应尽可能实行各机房分散供电,设备特别集中时才采用电力室集中供电,大型的高层通信大楼可采用分层供电(即分层集中供电)。集中供电和分散供电各有优点,因条件不同应斟酌选用。

对于集中供电,电力室的配置包括交流配电设备、整流器、直流配电设备、蓄电池。各机房从电力室直接获得直流电压和其他设备、仪表所使用的交流电压。这种配置有它的优点,例如集中电源于一室,便于专人管理,蓄电池不会污染机房等。但它有一个致命的缺点,即浪费电能,传输损耗大,线缆投资大。因为直流配电后的大容量直流电流由电力室传输到各机房,传输线的微小电阻也会造成很大的压降和功率损耗。

对于分散供电,电力室成为单纯交流配电的部分,而将整流器、直流配电和蓄电池组分散装于各机房内。这样,将整流器、直流配电、电池化整为零,使它们能够小型化,相对的小容量。但有个先决条件,蓄电池必须是全密封型的,以免腐蚀性物质挥发而污染环境、损坏设备(现行

的全密封型的电池已经能达到要求了)。

分散供电最大的优点是节能,因为从配电电力室到机房的传输线上,原先传输的大直流电流需要转变为传输 380 V 的交流。计算表明,在传输相同功率的情况下,380 V 交流电流要比 48 V 的直流电流小得多,在传输线上的压降造成的功率损耗只有集中供电的 $1/49 \sim 1/64$ 。

1.1.2 现代通信电源技术的应用比较

随着半导体工艺技术的不断升级,电路板上的元器件运行速度更快、体积更小,而且设备要求更多、更低的供电电压和更大的供电电流,最终系统的功能不断增加,而平均售价却可以不断下降。此外,用户对电源的故障修复时间、电源运行状态的感知与控制的要求越来越高,电源设计人员不再满足于实时监控电流、电压、温度,还提出了诊断电源供应情况、灵活设定每个输出电压参数的要求。这些需求已是今日的模拟解决方案难以满足的。因此,作为电源管理发展新思路的数字电源应运而生,其目标就是将电源转换与电源管理架构用数字方法集成到单芯片中,实现智能、高效的转换和控制及通信。

1. 数字电源的定义

数字电源是采用数字方式实现电源的控制、保护回路与通信接口的新型电源技术。可编程、响应性好和数字环路控制是表征数字电源的 3 个主要特征。数字电源有几种不同的定义,实现方式也各不相同。

第一种定义是数字检测,包括监视开关电源的状态,如温度、输入/输出电流、输入/输出电压、开关频率(占空比)等,并根据需求向主机报告。故障状态信息甚至时间标记等信息可存储在非易失性存储器中,并在将来某个时间上报这些信息。

第二种定义是在“数字检测”的基础上通过数字接口控制开关电源,一般是通过 I²C 或类似的数字总线控制输出电压、开关频率、多通道电源的(上/下电)排序、上升斜率、跟踪、(软)启动、裕度控制、故障保护等等。实际上,目前市场上很多电源管理集成电路都以这种方式工作。

第三种定义是用数字电路彻底取代开关电源中的所有模拟电路,这是真正的原生数字电源。只须编写几行简单的代码,一个核心数字电源集成电路就可以配置成升压稳压器、降压稳压器及负输出、SEPIC、反激式或正激式转换器,将使开关电源更容易设计、配置而且更稳定。但要实现这点从目前看来是相当困难的,因为从物理定律上来说,电流是模拟信号,即使数字开关电源用 ADC 和 DSP 取代误差放大器和脉冲宽度调制器,数字开关电源也仍然需要电压基准、电流检测电路和 FET 驱动器,这些组件目前只有模拟形式的产品。此外,电感器、变压器以及电容器等模拟元器件在实现数字电源时也是不能没有的。

传统的模拟电源是以模拟控制环路为基础的,如果在模拟控制环路外添加模拟量采样和量化电路,并辅以通信电路,即可构成上面第一种定义中所指的带数字检测的比较初级的数字电源。

目前的数字电源大都是按照上面第二种定义(即数字控制+数字监视)实现的,电源内部的模拟控制环路由数字控制环路替代。未来是属于数字电源的,但数字化是个渐进的过程,其发展很可能由同时使用模拟和数字技术的混合系统开始,进而演进到全数字实现。以前,数字化是以采用高成本的复杂多芯片电路方案为代价的。例如,一个具有电压、电流监视及控制能

力的应用可能需要很多集成电路,如高稳定度基准源、高精度多通道 ADC、DAC 和专用微控制器,此外还需要不小的软件开发工作量。如果再考虑成本、复杂性、线路板空间限制和严苛的产品上市时间要求,以数字方式管理电源的确需要人们付出不菲的代价。

随着电源系统的性能和功率的不断提高,实现电源性能指标所必需的元件数量和成本也随之增加,越来越多的控制需要通过具有成本效益的数字电路实现。一般认为,在设计 DC-DC 变换器时,通常 100 W 以上的系统中会应用数字控制技术;而在设计 AC-DC 变换器时,250 W 以上的系统会应用数字技术,这样电源的经济性会更高一些。因此,在未来的电源系统中,模拟与数字技术将共存相当一段时间。以前,电源行业转向开关电源是一个很大的变化,而电源数字化趋势将会是一个更大的变化。

2. 模拟电源的优势与不足

目前,除了一些专门用于微处理器的转换器之外,市场上大多数砖形转换器、中间总线转换器及负载点 PoL 转换器仍采用模拟控制。这是因为许多模拟电源系统经过了多年的检验,可靠性还是很高的。

当前,尽管模拟电源解决方案的成本、性能(如负载变化时的电源响应时间)、占板面积等指标都优于数字电源解决方案,但对开发人员来说,它完全是一种固定模式的黑盒应用,抑制了开发人员发挥创造力的激情,开发人员对电源进行同步跟踪、电压排序、故障诊断及适应环境变化的能力还是比较差的。

许多高性能的 DC-DC 转换器仍通过简单的无源器件产生的模拟信号进行设置和控制。即使是具有最先进拓扑结构的高性能转换器,也还需要使用外部电阻、电容来确定诸如启动时间、输出点值及开关频率等参数。这些电阻、电容的值都是设计调试时确定的,制造完成后不可轻易更改,因此自适应的电源管理方案也就不可能实现。而且,为实现更多功能,就要设计更多的直接反馈电路,所以模拟控制环路会变得非常复杂。

传统的模拟控制架构已经使用多年,模拟控制电路因为使用许多元器件而需要很大空间,这些元器件本身的值还会随使用时间、温度和其他环境条件的变化而变动,从而对系统稳定性和响应能力造成负面影响。模拟控制的控制-响应特性是由分立元器件的值决定的,它总是面向一个范围狭窄的特定负载,因此无法为所有电压值或负载点提供最优化的控制响应。换句话说,如果需要一个可以在很多产品中重复使用而不必更换部件的设计平台,则模拟方案难以胜任。除此之外,模拟系统的测试和维修都非常困难。

3. 数字电源的应用优势比较

数字电源正是为了克服现代电源的复杂性而提出的,它实现了数字和模拟技术的融合,提供了很强的适应性与灵活性,具备直接监视、处理并适应系统条件的能力,能够满足几乎任何电源要求。数字电源还可通过远程诊断以确保持续的系统可靠性,实现故障管理、过电压(流)保护、自动冗余等功能。由于数字电源的集成度很高,系统的复杂性并不随功能的增加而增加过多,外围器件很少(数字电源的快速响应能力还可以降低对输出滤波电容的要求),减小了占板面积,简化了设计制造流程。同时,数字电源的自动诊断、调节的能力使调试和维护工作变得轻松。

数字电源管理芯片易于在多相以及同步信号下进行多相式并联应用,可扩展性与重复性优秀,轻松实现负载均流,减少 EMI,并简化滤波电路设计。数字控制的灵活性能把电源组合

成串联或并联模型,形成虚拟电源。而且,数字电源的智能化可保证在各种输入电压和负载点上都具有最优的功率转换效率。

相对模拟控制技术,数字技术的独特优势还包括在线可编程能力、更先进的控制算法、更好的效率优化、更高的操作精确度和可靠性、优秀的系统管理和互联功能。数字电源不存在模拟电源中常见的误差、老化(包括模拟器件的精度)、温度影响、漂移、补偿等问题,无须调谐、可靠性好,可以获得一致、稳定的控制参数。数字电源的运算特性使它更易于实现非线性控制(可改善电源的瞬态响应能力)和多环路控制等高级控制算法;更新固件即可实现新的拓扑结构和控制算法,更改电源参数也无须变更板卡上的元器件。

数字控制还能让硬件平台重复使用,通过设计不同固件即可满足各种最终系统的独特要求,从而加快产品上市,降低开发成本、元器件库存与风险。

数字电源已经表现出相当多的优点,但仍有一些缺点需要克服。例如,模拟控制对信号状态的反应是瞬时的,而数字电源需要一个采样、量化和处理的过程来对负载的变化做出反馈,因此它对负载变化的响应速度目前还比不上模拟电源。数字电源的占板面积要大于模拟电源,精度和效率也比模拟电源稍差。虽然数字控制方法的优点在负载点(PoL)系统中非常明显,但模拟电源在分辨率、带宽、与功率元件的电压兼容性、功耗、开关频率和成本(在简单应用中)等方面仍然占有优势。不过,如果考虑到数字电源解决方案具有的优点,使用模拟电路搭建功能相似的电路,成本并不一定就比数字电源低。

数字电源中包含的技术无疑是复杂的,但它的使用并不一定就复杂。它要求设计人员具有一定的程序设计能力,而目前的电源设计人员普遍都是模拟设计为主,缺乏编程方面的训练,这对数字电源的推广也造成了一定的障碍。

人们对数字电源还有一个担心就是它还不像模拟电源那样经过多年应用的考验,因而可靠性不高。但就像数字电路在概念上优于模拟电路一样,可靠性是设计的问题,而不是数字化的问题。成本显然也是约束数字电源广泛应用的一个主要因素。由于数字实现方式的成本看似高于相似的模拟实现方式,而且人们对于数字电源产品的采用存在顾虑,所以,从用户的角度来说,也只有当数字电源的成本等于或低于模拟电源(因为成本是市场考虑的第一因素),同时又能提供模拟电源做不到的许多先进功能的时候,数字电源才会被考虑。

综上所述,在简单易用、参数变更不多的应用场合,模拟电源产品更具优势,因为其应用的针对性可以通过硬件固化来实现。而在可控因素较多,需要更快实时反应速度,需要管理多个电源、复杂的高性能系统应用中,数字电源则具有优势。

4. 数字电源的发展

最近出现的数字电源产品的集成度和易用性已经达到一个更高的高度。包括传统的模拟电源厂商和新兴的数字电源芯片设计厂商在内的大部分厂商都在着手解决纯粹的电源转换以外的问题,包括添加监测功能,提供可与系统通信的数字接口,以及建立数字控制反馈环路,即在模拟变换器外面使用“数字外壳”。常见的方案有两种,即单芯片控制器方案和通过高性能数字芯片对电源实现直接控制的方案。

(1) 单芯片控制器方案

通过外接 A/D 转换芯片进行取样,取样后对得到的数据进行运算处理,再把结果通过 D/A 转换后传送到 PWM 芯片,从而实现单芯片控制器对开关电源的控制。这种方案的技术目

前已经比较成熟,设计方法容易掌握,而且对单芯片控制器的要求不高,成本比较低。但是整套电路采用多个芯片,电路比较复杂;而且经过 A/D 和 D/A 转换等步骤,会造成比较大的信号延迟,进而影响电源的动态性能和稳压精度。有些单芯片控制器整合了 PWM 输出,但一般单芯片控制器的运行频率有限,无法产生足够高的频率和精度的 PWM 输出信号。

(2) 通过高性能数字芯片对电源实现直接控制

数字芯片(如 DSP 或 MCU)完成信号采样、处理和 PWM 输出等工作。由于数字 PWM 输出的信号功率不足以驱动开关管,一般还需通过一个驱动芯片驱动开关管,即数字控制器与功率级之间的接口由 MOSFET 驱动器提供。由于这些数字芯片有较高的取样速度(DSP 片内的 A/D 转换器完成一次 A/D 转换只需数百纳秒,相较之下,一般 8 位 MCU 控制器要数微秒之久)和指令周期,输出的 PWM 信号的分辨率仅数百皮秒,过流检测和关闭电源仅需数十纳秒,可以快速有效地实现各种复杂的控制算法,使设计具备较高的动态性能和稳压精度。此外,在微处理器的支持下添加 RS-232/485、USB、以太网等扩展通信手段也非常方便。数字控制的电源产品能够实现大部分数字电源的功能需求,如果不添加一些额外部件,还实现不了全部功能需求。

这种“数字外壳”的架构存在以下问题:为了保证电源有较高的稳压精度,A/D 转换器必须有较高精度的取样,但高精度的取样频率需要更长的 A/D 转换时间,造成回路的实时反应能力变差。而且,高速的采样和运算将产生巨大的运算量,能达到实时要求的核心处理器还是很少的。虽然在要求比较高的场合一般都会用 DSP 芯片,其运算和取样速度快,功能强大,但 DSP 芯片结构复杂,成本比较高;而且 DSP 控制技术较难掌握,对设计者要求比较高。通用 DSP 芯片不是专门作为电源控制芯片使用的,一般的电源应用对通用 DSP 芯片资源的利用率不高。不过,目前以 DSP 为主要处理单元的数字电源芯片厂商,如 TI、Freescale 等公司都在优化其作为数字电源核心的 DSP 的结构,同时努力降低成本,并改善开发手段(提供评估板、IP 模块等),以帮助开发人员轻松地如期完成开发。除了 DSP 的方案,有的厂商提供基于 MCU(如 Silicon Labs 公司)或状态机(如 Zilker 公司)的方案,MCU 控制功能强大,而状态机的优点是低功耗。鉴于 DSP 和 MCU 两种方案各有长处,现在有的厂商(如 Silicon Labs 公司、Microchip 公司)开始将硬件 DSP 和辅助 MCU 同时集成到芯片中,使系统性能最优,效率已经可以与模拟电源相媲美。

软件设计对数字电源设计人员而言是另一个挑战。为降低数字电源的设计门槛,很多半导体厂商推出了不需要软件编程或者支持图形用户接口(GUI)的数字电源解决方案,设计人员通过 GUI 界面就能设定电源特性参数,而不需要任何编程技能。此外,还可根据具体情况,设定每个输出电压的跟踪、升压时间和延时等。有的数字电源管理芯片允许设计人员通过芯片引脚配置电源特性参数。许多数字电源芯片允许在系统运行中通过电源管理总线(PMBus)来实时更改电源输出特性。系统控制算法的设计通常是在专用的集成开发环境(IDE)中进行,例如 TI 公司的面向 DSP 的 CCS、Silicon Labs 公司的基于 MCS-51 的 IDE 等。

目前,数字电源芯片的集成度已经达到较高的水平,适合复杂系统如服务器、通信设备使用。芯片中集成数个同步控制器和自适应驱动器,有的集成了 MOSFET 或功率驱动模块、LDO、电荷泵及电源管理(包括热管理)功能。其他特性还包括可编程中断输出、看门狗等。

先进的半导体制造工艺在数字电源芯片上也得以利用,其中数字电路应用 0.18~0.25 μm VLSI 工艺;模/数混合电路应用高压 BiCMOS 工艺也比较常见。有的厂商借鉴大功率芯