

绿色数据中心 供电系统

金 科 阮新波 著



科学出版社

014034586

TP308
17

绿色数据中心供电系统

金科 阮新波 著



科学出版社

北京



北航

C1714972

TP308
17

内 容 简 介

本书阐述了数据中心的发展历程以及目前数据中心供电系统的解决方案,指出了目前供电系统存在的主要问题。从未来云计算和绿色数据中心对供电系统的要求出发,阐述了未来数据中心供电系统结构的发展趋势,并对供电系统的各个组成变换器进行深入分析,提出合适的解决方案,最后提出整个供电系统的能量管理策略,为设计未来数据中心供电系统提供了理论依据。

本书可作为高等院校相关专业的本科生和研究生的参考用书,也可供IT企业决策人员,数据中心机房规划设计人员、使用维护人员以及众多的UPS市场营销人员阅读,还可供科研单位及相关企业的产品研制开发人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

绿色数据中心供电系统/金科,阮新波著. —北京:科学出版社,2014. 2
ISBN 978-7-03-039795-9

I. ①绿… II. ①金…②阮… III. ①机房-供电系统-节能设计 IV. ①TP308

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 030039 号

责任编辑:余 江 张丽花 / 责任校对:张怡君

责任印制:阎 磊 / 封面设计:迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

骏杰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 2 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2014 年 2 月第一次印刷 印张:13 3/4

字数:277 000

定价:62.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

随着计算机网络技术的不断发展和社会信息化程度的逐步提高,电信、政府、教育、金融等各行各业对数据处理的要求越来越高,作为海量数据承载和传输媒体的数据中心逐渐成为信息中心的枢纽。良好的供电系统是数据中心可靠稳定运行的保证。目前的数据中心能耗十分严重,因此,绿色数据中心因其低碳节能的理念而备受关注。为了适应绿色数据中心的要求,其供电系统也要实现绿色化。因此研究高可靠性、高效率、高功率密度的绿色数据中心供电系统具有十分重要的意义。

数据中心供电系统实现绿色化主要有两个思路:一是提高电力传输链的效率;二是增加新的电能来源。前者可以通过优化系统结构和功率变换环节效率来实现;后者可以通过在供电系统中引入太阳能、风能等可再生能源来实现。本书主要针对这两个思路对绿色数据中心双直流母线供电系统进行了详细阐述,介绍了近年来我们实验室所取得的研究成果和未来研究方向及思路。恳请电力电子与电源界的各位前辈和同行批评指正,提出宝贵意见和建议。

本书共分 11 章。第 1 章介绍数据中心的概念和发展历程,阐述目前数据中心存在的问题以及未来发展趋势,并对其中两大发展趋势——云计算数据中心和绿色数据中心进行详细介绍;还介绍数据中心供电系统的概况,包括目前的数据中心供电系统构成、存在的问题以及绿色数据中心对供电系统提出的要求。第 2 章介绍数据中心供电系统结构的研究现状,对比了数据中心交流供电系统和不同母线电压等级的直流供电系统,得出双直流母线供电系统最适合于绿色数据中心的结论,并对该系统中的各接口单元进行简单介绍。第 3 章提出一种单级式隔离型双向 AC/DC 变换器拓扑作为电网接口单元,分析其工作原理、控制策略以及参数设计方法。第 4 章介绍一种由 boost 和全桥 LLC 谐振变换器组成的两级式高升压比变换器作为光伏接口单元,并且采用扰动观察法实现实时最大功率点跟踪。第 5 章提出一种复合式全桥三电平 LLC 谐振变换器作为燃料电池接口单元,对变换器的工作原理、特性进行详细分析,该变换器可以工作在三电平和两电平模式,在很宽的输入电压范围内高效工作。第 6 章提出一种三电平 Buck/Boost 双向变换器作为蓄电池接口单元,它采用双向稳压或限流控制,可自由切换模式,具有动态特性高、器件电压应力低的优点。第 7 章提出一种改进型 PWM ZVS 三电平直流变换器作为高压母线变换器,它利用箝位二极管消除了输出整流管的电压尖峰,同时保留原来的 ZVS PWM 三电平变换器的优点,适合于高压输入的场合。第 8 章提出一种磁集成自驱动非隔离 ZVS 全桥 DC/DC 变换器作为电压调节模块,采用

自驱动技术,消除了SR驱动电路;采用磁集成的技术,利用变压器的励磁电感作为输出滤波电感,提高了变换器的功率密度;同时可以实现功率管的零电压开关。第9章提出一种正激式开关电容调节器和一种反激式开关电容调节器作为负载点变换器,这两种变换器单相工作灵活、功率密度高,适合于低压大电流的应用场合。第10章介绍一族开关电容调节器的推导方法,每个变换器都是开关电容变换器和调压变换器的结合,并针对其中一种隔离型开关电容调节器进行了详细分析和实验验证。第11章阐述整个供电系统的能量管理策略,提出了一种变母线电压的控制策略来提高系统效率。

作者在美国弗吉尼亚理工大学进行博士后研究期间,Fred C Lee教授和徐明副教授对作者进行指导和资助,提出大量宝贵意见,给予了极大的支持和鼓励,在此对他们表示诚挚的敬意。孙巨禄、王川云、孙毅为课题的研究做出了贡献,在此对他们表示感谢。

作者所在南京航空航天大学课题组的老师和同学先后参与了研究工作,他们是陈乾宏、周林泉、王建冈、许大字、马运东、刘福鑫、张之梁、任小永和方天治老师;顾玲、杨孟雄、徐敏、王伟、饶勇、曹文静、蒋皓、刘志军、朱宏、任亮亮、王晶晶等同学。他们努力、勤奋,付出了劳动和心血,为课题的研究做出了重要贡献。在本书的写作过程中,顾玲同学整理并校阅了全部书稿。在此对他们表示衷心感谢。

本项研究工作得到国家自然科学基金、霍英东教育基金、江苏省自然科学基金杰出青年基金、教育部博士点基金等的资助,在此也表示衷心的感谢。

本书的出版得到了科学出版社的大力支持,特此致谢!

作 者

2013年11月于南京

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 数据中心的概况	1
1.1.1 数据中心的定义	1
1.1.2 数据中心的发展历程	1
1.1.3 目前数据中心主要存在的问题	3
1.1.4 数据中心的未来发展趋势	4
1.1.5 云计算数据中心	5
1.1.6 绿色数据中心	6
1.2 数据中心供电系统的概况	6
1.2.1 目前的数据中心供电系统	6
1.2.2 目前数据中心供电系统主要存在的问题	8
1.2.3 绿色数据中心对供电系统提出的要求	10
1.3 本章小结	11
第 2 章 数据中心供电系统的结构	12
2.1 引言	12
2.2 供电系统结构现状	12
2.2.1 传统的数据中心 UPS 供电系统解决方案	12
2.2.2 分布式供电架构	14
2.3 数据中心交流供电系统结构	17
2.3.1 传统数据中心交流母线供电系统结构	17
2.3.2 绿色数据中心交流母线供电系统结构	18
2.4 数据中心直流母线供电系统	20
2.4.1 传统数据中心直流母线供电系统结构	20
2.4.2 绿色数据中心高压直流母线供电系统结构	21
2.4.3 绿色数据中心双直流母线供电系统	23
2.5 绿色数据中心几种供电系统结构的对比	23
2.6 双直流母线数据中心供电系统组成	24
2.6.1 电网接口单元	24
2.6.2 光伏电池接口单元	25
2.6.3 燃料电池接口单元	25

2.6.4	蓄电池接口单元	26
2.6.5	高压母线变换器	26
2.6.6	电压调节模块	27
2.6.7	负载点变换器	27
2.7	本章小结	27
第3章	直流母线与电网的接口单元	28
3.1	引言	28
3.2	三相双向 AC/DC 变换器的研究现状	29
3.3	一种单级式隔离型三相双向 AC/DC 变换器	33
3.3.1	主电路拓扑的推导	33
3.3.2	基本控制策略	35
3.3.3	工作原理	37
3.3.4	参数设计	44
3.3.5	仿真分析	47
3.4	本章小结	49
第4章	光伏电池与直流母线的接口单元	50
4.1	引言	50
4.2	光伏接口单元的研究现状	53
4.2.1	变换器拓扑结构	53
4.2.2	MPPT 技术	54
4.3	一种光伏发电系统中的高升压比变换器	55
4.3.1	工作原理	56
4.3.2	系统的性能指标	59
4.3.3	系统的主电路设计	59
4.3.4	MPPT 控制技术	62
4.3.5	实验结果	64
4.4	本章小结	66
第5章	燃料电池与直流母线的接口单元	67
5.1	引言	67
5.2	燃料电池接口单元的研究现状	69
5.2.1	非隔离型变换器	69
5.2.2	隔离型变换器	70
5.3	复合式全桥三电平 LLC 谐振变换器	72
5.3.1	工作原理	73
5.3.2	变换器特性	82
5.3.3	参数设计	87

5.3.4 实验结果	89
5.4 本章小结	92
第6章 蓄电池与直流母线的接口单元	93
6.1 引言	93
6.2 蓄电池接口单元的研究现状	94
6.2.1 双向变换器的工作原理	94
6.2.2 双向变换器的基本拓扑	95
6.2.3 双向变换器的控制方式	97
6.3 三电平 Buck/Boost 双向变换器	98
6.3.1 工作原理	98
6.3.2 三电平双向变换器的特性	100
6.3.3 三电平双向变换器的控制策略	101
6.3.4 参数设计	104
6.3.5 实验结果	105
6.4 本章小结	106
第7章 高压母线变换器	108
7.1 引言	108
7.2 高压母线变换器的研究现状	110
7.2.1 电路拓扑	110
7.2.2 副边整流电路	111
7.2.3 控制方式	112
7.3 改进型 PWM ZVS 三电平直流变换器	113
7.3.1 工作原理	114
7.3.2 变换器特性	121
7.3.3 简化的改进型 ZVS PWM TL 变换器	122
7.3.4 隔直电容的影响	124
7.3.5 参数设计	126
7.3.6 实验结果	128
7.4 本章小结	131
第8章 电压调节模块	132
8.1 引言	132
8.2 电压调节模块的研究现状	133
8.3 磁集成自驱动非隔离 ZVS 全桥 DC/DC 变换器	138
8.3.1 变换器的推导	138
8.3.2 工作原理	139
8.3.3 自耦变压器自驱动方法	142

8.4	集成变压器电流采样方法	145
8.4.1	电感 DCR 采样	145
8.4.2	集成变压器电流采样方法	146
8.4.3	仿真分析和实验验证	151
8.5	本章小结	154
第 9 章	负载点变换器	155
9.1	引言	155
9.2	POL 变换器研究现状	156
9.2.1	Buck 变换器及其相关技术	156
9.2.2	两级式 POL 变换器	158
9.3	开关电容调节器	159
9.3.1	正激式开关电容调节器	160
9.3.2	反激式开关电容调节器	169
9.4	本章小结	176
第 10 章	一族开关电容调节器	177
10.1	引言	177
10.2	开关电容基本单元和开关电感基本单元	177
10.2.1	开关电容变换器的工作原理	177
10.2.2	开关电容基本单元	179
10.2.3	开关电感基本单元	179
10.3	一族开关电容调节器的推导	180
10.3.1	一族非隔离型开关电容调节器	180
10.3.2	一族隔离型开关电容调节器	185
10.3.3	一族带变压器的非隔离型开关电容调节器	189
10.4	实验结果	191
10.5	本章小结	193
第 11 章	供电系统能量管理	194
11.1	引言	194
11.2	能量管理研究现状	194
11.2.1	微网能量管理系统的定义和组成	194
11.2.2	微网的能量控制策略	196
11.2.3	能量管理优化算法	196
11.3	绿色数据中心能量管理基本控制策略	197
11.4	变母线电压控制策略	201
11.5	本章小结	205
参考文献		206

第 1 章 绪 论

1.1 数据中心的概况

1.1.1 数据中心的定义

随着网络和信息技术的快速发展和成熟应用,电信、金融、政府、石化、能源、教育等各行各业对数据处理的要求越来越高,作为海量数据承载和传输媒体的数据中心逐渐成为信息中心的枢纽。关于数据中心的定义,目前有很多不同的说法。维基百科给出的定义是:数据中心是一整套复杂的设施。它不仅包括计算机系统和与其他与之配套的设备(如通信和存储系统),还包含冗余的数据通信连接、环境控制设备、监控设备以及各种安全装置。谷歌在其发布的 *The Datacenter as a Computer* 一书中,将数据中心解释为“多功能的建筑物,能容纳多个服务器以及通信设备。这些设备被放置在一起是因为它们具有相同的对环境的要求以及物理安全上的需求,并且这样放置便于维护”,而“并不仅仅是一些服务器的集合”。还有一种对数据中心普遍认可的定义:数据中心可以是一个建筑物或建筑物的一个部分,主要用于设置计算机房及其支持空间。数据中心内放置核心的数据处理设备,是企业的大脑。数据中心的建立是为了全面、集中、主动并有效地管理和优化 IT 基础架构,实现信息系统高水平的可管理性、可用性、可靠性和可扩展性,保障业务的顺畅运行和服务的及时提供。

1.1.2 数据中心的发展历程

1946 年,世界上第一台电子数字积分计算机(Electronic Numerical Integrator And Computer, ENIAC)在美国宣告诞生。这台专为美国弹道研究实验室存储火力表而研制的计算机有 30 个操作台,占地面积约 170m²,相当于 10 间普通房间的大小。该计算机拥有 17468 个真空管、7200 个水晶二极管以及上万个电阻器和电容器,每秒能执行 5000 次加法和 400 次乘法,其计算速度是手工计算的 20 万倍、继电器计算机的 1000 倍。而在当时没有其他的计算机有能力完成此重任,ENIAC 成为数据中心的发展雏形^[1,2]。

1. 早期机房——大型机时代(1960~1990 年)

1) 1960~1969 年

1954 年,世界上第一台使用晶体管线路的计算机在美国贝尔实验室研制成功,这台取名为“催迪克”(TRADIC)的计算机共装有 800 个晶体管。1964 年,世界上首台超级计算机“CDC6600”由控制数据公司(Control Data Corporation)研制

出。该超级计算机也是现代超级计算数据中心的鼻祖,由西摩·克雷(Seymour Cray)为伦斯辐射实验室而设计。“CDC6600”采用管线标量架构,在这种架构中,由一个 CPU 交替处理指令的读取、解码和执行,每个时钟周期处理一条指令。因此,它从诞生起至 1969 年,一直是世界上最快的计算机,直到西摩·克雷设计出世界上第二台超级计算机。

这个时期的计算机器件组成主要以电子管、晶体管为主,体积大,耗电大,主要运用于科学研究或国防军事机构。在这个时期诞生了第一代的数据机房,UPS、精密机房专业空调就在这个时代诞生。在这个时期,数据中心的硬件可靠性成为主要问题。

2) 1970~1990 年

随着大规模集成电路的迅速发展,计算机除了向巨型机方向发展外,更多地朝着小型机和微型机方向快速演进。1971 年末,美国旧金山南部的硅谷诞生了世界上第一台微处理器,它开创了微型计算机的新时代。在这个时代,中小型机房得到了爆炸式的发展。

早期的计算机机房没有统一的建设标准及规范,专为某台计算机而设,以科学计算为主。其供电由稳压器向 UPS 引进发展,系统稳定工作时间也由几个小时延长到几周。

2. 中期机房——服务器时代(1990~2000 年)

20 世纪 90 年代中期,互联网的出现对市场产生了巨大影响,也为接下来的十几年数据中心的部署提供了更多选择。随着企业对互联网的需求和依赖日益增多,数据中心作为一种服务模式已经为大多数公司所接受。

随着 IT 技术的应用普及,在这个时期,我国有了较为完善的关于机房建设的国家标准,机房采用服务器-客户端的网络形式,并且开始大量使用网络通信设备和数据存储设备。其供电系统也得到不断完善,在综合监控系统的控制下,系统的稳定工作时间可以达到几个月。

3. 现代机房——服务器时代(2000~2008 年)

在这个时期内,机房 IT 设备实现机架化,并能进行电子商务处理,许多行业(如银行、政府等)处理业务对 IT 系统的依赖性急剧增加。机房的可靠性、可用性、可扩展性、可管理性、可维护性受到很大关注。系统能够稳定工作几个月或者连续稳定^[2]。

2007 年,模块化数据中心成为数据中心发展的新产物,它通常将数据中心的设备都部署在集装箱里面,因此又名集装箱数据中心。最有名的包括 Sun Black-box——该集装箱数据中心中的 280 个服务器都被部署在 20 英寸柜的集装箱里面,并可被运往全世界各地。这种数据中心仅使用传统数据中心 1% 的建造成本,灵活机动,而且能大幅降低部署周期。

随着数据中心的大量兴起,其能耗问题日益凸显,带来了成本和可靠性等多方面的影响。数据中心所有者不得不直面这个问题,并逐渐尝试将可再生能源引入

数据中心,从而减少用电成本,提高经济效益。

4. 新一代机房——服务器时代(2008 年至今)

新一代机房具有高密度、更安全、更绿色、更智能、管理更精细化等特征。其中云数据中心便是这一时期的产物。软件即服务(Software as a Service, SaaS)实现了基础架构带来的计算资源需求向按需订购模式的转变。云服务提供商如亚马逊,以及其他几个基于云数据中心平台的基础架构服务商都拥有海量的订购用户。新一代数据中心采用标准化的组件,符合各项国家标准,能够快速部署;可以实现集中化管理、自动化程度高;基于云计算这一集中化的部署方式,具有更高密度和更高效特征。

1.1.3 目前数据中心主要存在的问题

1. 数据中心的可靠性和可用性不足^[3]

可靠性是指系统在指定时间内无故障地持续稳定运行的可能性。可靠性随着指定时间的不同而变化,时间越长,可靠性越低。可靠性是一个以时间为变量的函数,其计算公式为

$$R(t)=e^{-\lambda t} \quad (1.1.1)$$

其中, λ 为故障率, $\lambda=1/\text{MTBF}$ 。MTBF 为平均无故障时间,单位为小时。由公式可知,无论系统设计得多么可靠,系统出现故障的可能性与时间长短成正比。

可用性是指长时间的一个平均值,用来表示某一运行中的可修复设备或系统在这段时间内能按其功能稳定运行的能力,其计算公式为

$$A=\text{MTBF}/(\text{MTBF}+\text{MTTR}) \quad (1.1.2)$$

其中,MTBF 为平均无故障时间,MTTR 为平均故障维修时间。可用性是衡量数据中心系统性能优劣的主要指标。因业务持续性管理的需要,人们都期望信息系统能达到 5 个 9(99.999%)的高可用性^[4]。

无论是政府部门、教育机构还是企业,数据中心的可靠稳定运行是至关重要的,数据中心一旦发生事故,将导致整个系统都无法正常运行甚至瘫痪。近年来,银行、证券、民航等行业相继出现了数据中心故障,造成了较大的经济损失和较差的社会影响,很多数据中心的可靠性和可用性问题令人担忧。

2. 数据中心可持续发展能力严重不足

随着信息技术的飞速发展,数据中心处理的信息量将越来越大,承担的计算任务和存储任务将越来越重,由此数据中心要实现扩容,增加更多的服务器和存储设备等。因此数据中心是否具有可持续发展能力十分重要。

目前,那些缺乏可持续发展能力的数据中心已暴露出了较多的问题,如供电能力不足、无法实现在线扩容、机房送回风不顺畅产生局部热点、数据中心能耗巨大等。这些问题直接影响数据中心的可用性和可靠性,大大缩短了数据中心的正常生命周期。

数据中心的可持续发展能力主要体现在以下几个方面:①数据中心机房有合理的全局规划;②建筑有尚未开发的利用空间,用于更多设备的安放;③供电设计密度高,系统可靠性高,能在线扩容;④系统日常运行能耗小、营运成本低;⑤运维管理机制完善。

由此可见,影响数据中心可持续能力的因素来自各项基础设施、管理等各方面,任何一个环节做得不好都会导致其可持续能力不足。

3. 数据中心资源利用率低

目前,大多数数据中心无法做到资源的灵活分配、高效利用,数据中心资源利用率低是目前普遍存在的一个问题。多家第三方机构的调研表明企业数据中心的服务器平均利用率一般低于 15%。其主要原因是,每个部门都是单独设计各自的运行环境,并按照可能需要的最大业务需求进行设计,因此无法做到全局的统筹规划,导致资源利用率低下。

4. 数据中心的自动化程度低、专业化运维管理水平不高

传统数据中心运维管理水平普遍较低,专业化程度不高,资源配置和部署过程多采用人工方式,没有自服务和自动部署的能力,使大量人力资源耗费在了繁重的重复性工作上。据相关调查结果分析,目前很多数据中心都存在着管理方面的问题,这严重影响了数据中心的生命周期,导致整个机构效率低下。因此,如何提高数据中心的自动化程度和专业化运维管理水平是亟待解决的问题。

5. 数据中心能耗严重

数据中心规模扩张后随之而来的是能耗支出的大幅增长。数据中心的能耗是指数据中心中各种用能设备消耗的能源总和,不仅包括服务器、交换机等 IT 设备的能耗,还包括空调、配电等辅助系统的能耗。2009 年我国数据中心总耗电量约 364 亿千瓦时,占当年全国总电耗的 1%,2011 年我国数据中心总耗电量达 700 亿千瓦时,已占据全社会用电量的 1.5%,相当于 2011 年天津市全年的总用电量。随着数据中心的快速发展,预计到 2015 年,全国数据中心将消耗掉三峡电站 1 年的发电量。

PUE(Power Usage Effectiveness,电源使用效率)值已经成为国际上比较通行的数据中心电力使用效率的衡量指标。PUE 值是指数据中心消耗的所有能源与 IT 负载消耗的能源之比。PUE 值越接近于 1,表示一个数据中心的绿色化程度越高,能耗越低。目前,国内大多数数据中心 PUE 介于 2.5~3.0,耗电量十分严重。国内外的大型数据中心已经将能耗问题看成未来数据中心发展的首要难题,“绿色节能”已成为数据中心的主要诉求。

1.1.4 数据中心的未来发展趋势

传统数据中心具有可靠性和可用性差、可持续发展能力低下、自动化程度低以及能耗严重等问题,成为了信息化发展的瓶颈。为了适应未来 IT 技术的发展,必须构建发展新一代的数据中心。

未来数据中心主要有以下发展趋势。

1. 虚拟化

虚拟化是一个抽象的概念,是指通过向资源用户屏蔽这些资源的物理性质和边界的方式将 IT 资源合并。具体来说,虚拟化就是使软件和硬件相互分离,把软件从主要安装硬件中分离出来。虚拟化可以简化运维、提高数据中心的资源利用率和 IT 负载效率,减少新服务器方面的开支,同时减缓了数据中心占地面积的增长速度,增加业务部署的灵活性^[5]。

2. 模块化

数据中心模块化可以提高系统的可用性、适应性,减少其总拥有成本,从而能提高系统的价值。模块化数据中心最大的优势在于可以按照客户的需求来设计数据中心的规模,无论企业当前处于何种规模,或从事哪个行业领域,都可以按照自己的需求定制模块化数据中心,并可伴随业务发展需求,逐步扩张数据中心规模,以应对更多 IT 需求。同时,相对新建或扩建传统数据中心而言,模块化数据中心的部署时间更短,从设计到正式部署应用只需要十多周的时间即可完成,而且也更节约占地^[5]。

3. 自动化

数据中心自动化,就是要具备虚拟化技术、运营协调、网络负荷管理、服务器自动化、存储自动化、策略设置等完整自动化功能,可帮助用户充分应对业务和管理挑战,实现手工流程自动化,在节约成本的同时,真正帮助企业实现安全、高效和 7×24 小时无人值守的新一代数据中心^[2]。

4. 绿色化

数据中心绿色化是指通过合理的布局、节能设备的配置以及先进的供电和散热技术解决传统数据中心的高能耗问题,实现供电、散热和计算资源的无缝集成和有序管理,高效利用能源和空间^[6]。数据中心绿色化能大大降低数据中心的能耗,减少用电成本。根据 Pike Research 的报告,在未来四年,全球将会有大量的资金用于数据中心的绿色化,预计到 2016 年将达到 450 亿美元。

1.1.5 云计算数据中心

随着虚拟化技术的日益成熟,云计算迅速发展,数据中心作为云计算落地的重要载体发展更是迅猛,因此建设基于云计算的数据中心平台是未来数据中心发展的必然趋势。传统数据中心运行时初期负荷较小,增长也很缓慢,而云计算数据中心一经使用,负荷即达到较高的水平,因此工作效率较高,具有高效节能的优点。

云计算是指通过网络把大量的硬件、平台和软件所构成的资源池中的资源以按需服务的形式交付给用户。云计算时代的到来意味着用户将聚焦于信息服务本身,而不用像传统模式需要关注底层 IT 架构。云计算对数据中心提出了如下要求:超大规模、高密度、灵活快速扩展、降低运维成本、自动化资源监控和测量以及高可靠性等^[7]。

1.1.6 绿色数据中心

国外一项有关“为何需要绿色中心”的调查中发现,62%的企业认为,他们的数据中心面临着诸如散热、供电、成本等问题;23%的企业认为,其数据中心供电和散热能力不足,限制了 IT 基础设施扩展,或无法充分利用高密度计算设备;19%的被访企业认为,其数据中心的耗电量太大,费用超高,无法负担;还有 17%的企业认为,机房温度过高,影响了计算设备的稳定运行,随之导致一系列问题的出现。

基于数据中心能耗问题严重的现状,绿色数据中心的概念应运而生。绿色数据中心(Green Data Center)是指数据机房中的 IT 系统、机械、照明和电气等能取得最大化的能源效率和最小化的环境影响。正如 IBM 公司系统和科技事业部张智隆先生所说,绿色数据中心的含义就是提高数据中心的能源效率。尽量减少数据中心的整体用电量;尽量增大数据中心整体用电中用于 IT 系统比例;尽量减少用于非计算设备(电源转换、冷却等)的用电消耗。绿色数据中心是数据中心发展的必然,尤其是在如今能源危机和环境污染严重的时代背景下。

1.2 数据中心供电系统的概况

1.2.1 目前的数据中心供电系统

数据中心主要有服务器设备、存储设备、计算设备和网络设备等,这些设备都需要对其进行供电,因此可靠、不间断的供电系统是保证数据中心有效运行的必要条件,从计算机设备到智能系统、安全管理等重要设备,都必须有可靠的供电系统作保证。

保证供电的连续性已经成为现代数据中心供电系统必不可少的功能,目前的数据中心供电系统主要构成(图 1.2.1)如下^[8,9,11]:

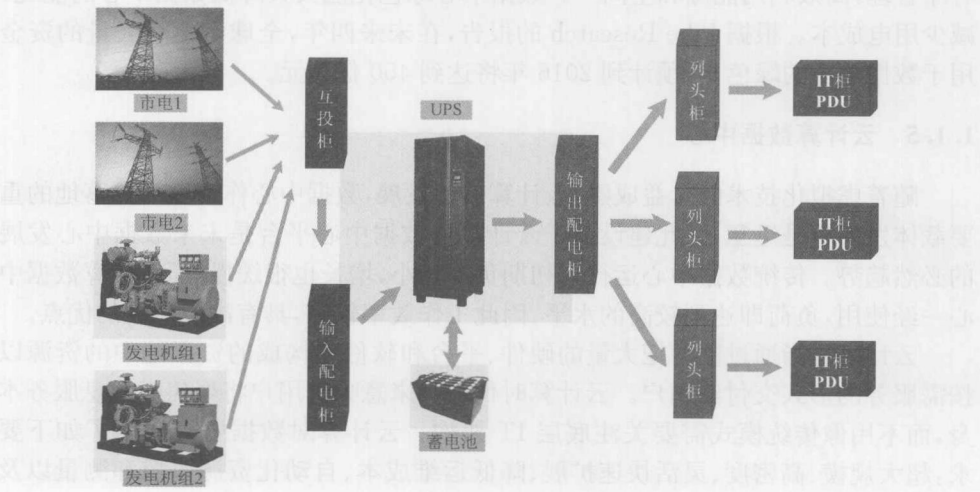


图 1.2.1 数据中心供电系统的构成

(1) 备用电源:为了保证供电的万无一失,在重要的数据中心都设置了双电网供电系统,其中一路市电正常时由其给负载供电,另一路市电作为与交流市电冗余的交流备用电源。此外,发电机组也可作为交流备用电源。而当市电和发电机全部停止供电时,蓄电池可作为直流备用电源给负载供电。

(2) 电源转换设备:包括自动转换开关电器(Automatic Transfer Switching Equipment, ATS)、不间断电源(Uninterrupted Power Supply, UPS)以及静态转换开关(Static Transfer Switch, STS)。其中 ATS 用于将负载电路从一路电源自动切换至另一路(备用)电源的开关电器,以确保重要负荷的连续可靠运行;当正常交流供电中断时,UPS 可用于将蓄电池输出的直流变换成交流持续给负载供电;STS 一般配置在 UPS 设备与负载之间,冗余的多路供电由其转换成一路向负载供电。

(3) 配电设备:主要包括交流输入配电、UPS 输入配电、UPS 输出配电、负载机架排配电(列头柜)以及机架配电(Power Distribution Unit, PDU)等。

(4) 谐波抑制与治理设备:由于系统存在整流环节而不可避免带来谐波源,所以必须增加谐波抑制与治理设备以减少对电网造成的污染。

图 1.2.2 给出了近年来全球范围内服务器、电源和冷却以及管理/行政开支的柱状图,可以看出电源和冷却费用在总费用中所占的比例呈逐年增大的趋势。数据中心能耗的构成大致如图 1.2.3 所示。其中服务器能耗占 40%左右;空调能耗占 40%左右;配电系统和供电系统能耗约占数据中心总能耗的 10%左右。而减少配电系统的能耗不仅可以减少功率变换的能耗,而且由于设备发热的减少节约了空调的成本和能耗。因此,高效率是数据中心供电系统的核心问题。一方面,效率的提升可以增强设备的可管理性,降低成本;另一方面,由于效率提升带来的能源节省和碳排放的减少,为绿色生态环境做出一定的贡献。

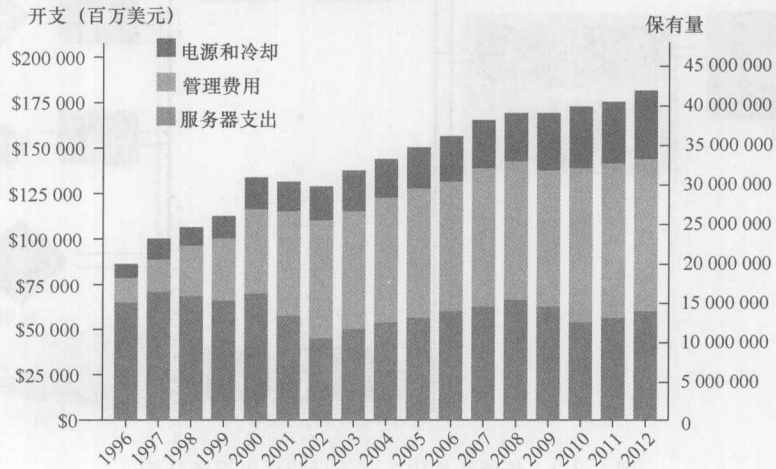


图 1.2.2 全球范围内服务器、电源和冷却以及管理/行政开支

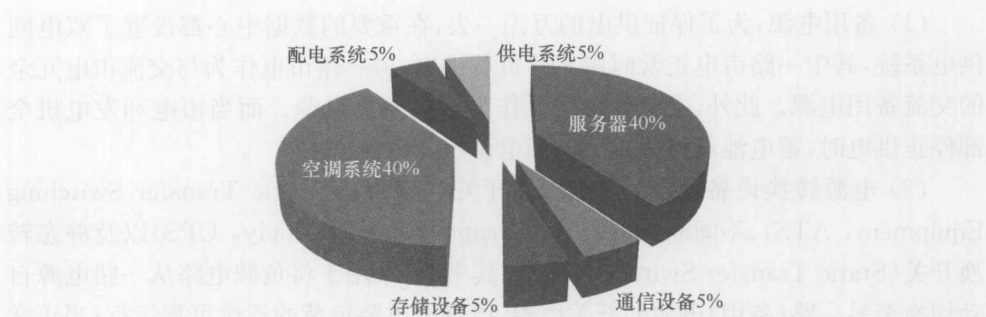


图 1.2.3 数据中心能耗

1.2.2 目前数据中心供电系统主要存在的问题

现有的数据中心供电系统结构如图 1.2.4 所示,电网是系统电能的唯一来源,因此它的系统结构比较简单,能量流向单一。交流不间断供电电源(AC UPS)将电网输出整流后与蓄电池并联,再经过 DC/AC 逆变器接到交流母线上,分别经由配电单元(Power Distribution Unit, PDU)、供电单元(Power Supply Unit, PSU)以及后级的变换器后将交流电变换成各种负载所需的不同的电压对负载进行供电。在数据中心分布式供电系统中,设备终端的变换器模块(又称电源模块)已逐渐演变成板载电源模块(On Board Power Supply, OBPS)、负载点变换器(Point of Load, POL)以及电压调节模块(Voltage Regulator Module, VRM)。板载电源模

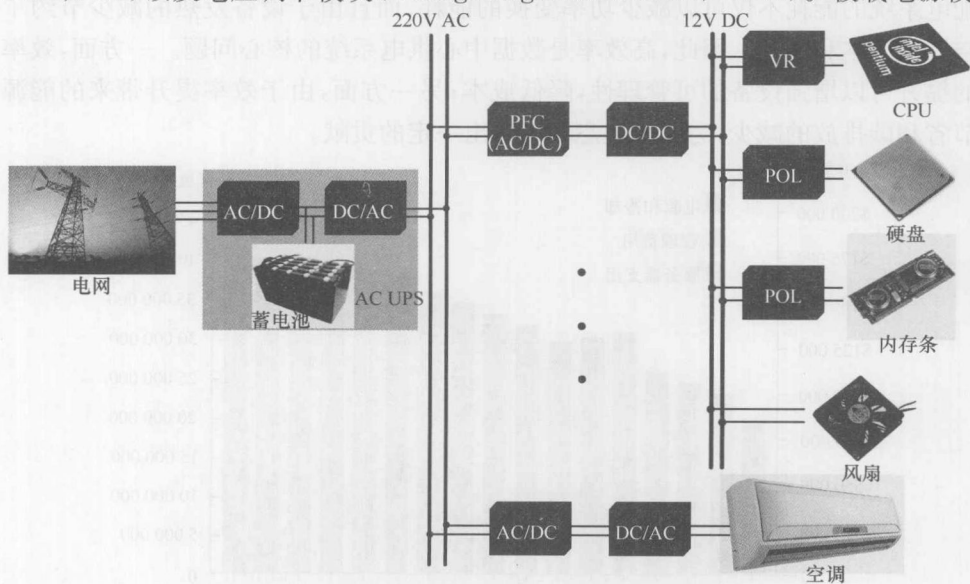


图 1.2.4 传统数据中心交流母线供电系统结构