

文章编号:1673-9981(2014)02-0129-05

全直流供电在清洁能源供电系统中的应用研究

罗婉霞,付 河

广州广日电气设备有限公司,广东 广州 511447

摘 要:本文主要研究了直流供配电在清洁能源供电系统中的应用.通过合理配置母线的电压等级和主接线结构,减少电压转换次数,以降低系统的能量损耗;采用电力电子和自动控制技术研制的直流插座避免在负载通断过程中产生危害电弧;通过多级代理的方式进行能源调度与管理,提高对能源的利用效率.实际运行结果表明,采用350,220和24 V三级直流母线配电系统可满足直流用电设备对输入电压范围的要求.系统的运行数据及时有效地传送到调度中心,为系统分析提供了必要的基础数据.通过对无关负载的开关时间进行调节,使直流供配电系统的能源利用效率相对于交流微电网提高了20%.

关键词:直流微电网;直流母线;能源管理系统;光伏电池

中图分类号:TK513

文献标识码:A

目前,交流供配电是主要的用电方式,随着电力电子技术的发展,越来越多的低压直流用电设备投入使用,这些用电器都需采用降压和整流装置将交流电转换成直流电源供电.由于这种电能转换方式会导致大量的谐波电流注入系统,严重影响了电能的质量^[1].广日电气新能源中心的光伏系统采用直流供配电,作为清洁能源的示范工程与试验中心,可为研究直流供配电积累技术和经验.

本文中的全直流供配电系统的设计装机容量为60 kW,于2013年12月安装调试完成,截止到2014年3月31日,持续运行了3个月,累计发电量达到11303 kW·h,达到1~3月份广州平均日太阳辐射的理论发电量,在日太阳辐射最小的3月份,该系统的日平均发电量也有120 kW·h,可满足负载每天100 kW·h最大用电量的需求.

1 系统设计

由于直流用电设备需要利用电源适配器将市电

转换成设备所需的直流电源,所以在AC-DC转换过程中会不可避免地产生能量损失.利用光伏、风力等清洁能源发电装置输出的是直流电,如果由直流电网直接给直流用电设备供电可以降低在AC-DC转换过程中的能量损失和系统故障率,并且由于富余的电能更容易储存,使得直流电网的“削峰填谷”更容易实现.

目前,对微电网的研究大多集中在交流微电网领域,对直流微电网很少涉及或者虽有涉及但也仅限于理论上的分析和仿真,本文以实际应用案例研究了以直流微电网为基础的直流供配电系统.该系统的发电采用光伏、风力和燃气三种方式混合发电,通过能源管理中心进行电能的管理和调度,富余的电能储存在蓄电池组内,当系统瞬时电力不足时,由蓄电池组辅助提供电能,该直流供配电系统的结构如图1所示.

在本直流供配电系统中,需解决的主要问题有:

(1)直流母线电压分级,(2)直流母线结构,(3)直流插座灭弧,(4)能源调度与管理.

收稿日期:2014-04-23

作者简介:罗婉霞(1964-),女,广东兴宁人,高级工程师,硕士.

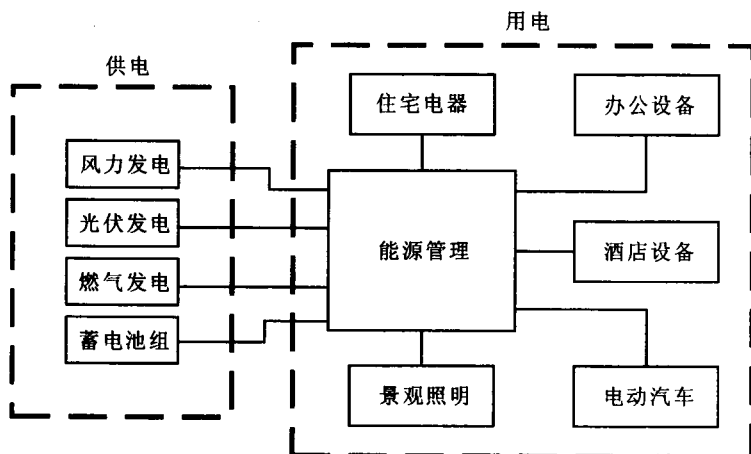


图1 直流微电网系统结构

Fig.1 The system structure of direct current microgrids

1.1 直流母线电压分级

直流母线电压的分级应满足直流设备对输入电压范围的要求。在本项目中,光伏、风力和燃气三种直流发电装置输出的电压范围是180~250 V,经能源管理与调度,转换成不同等级的电压供给不同类型的负载使用。从经济技术平衡的角度出发,将直流母线电压分为350,220和24 V三级,母线电压分级示意图如图2所示。

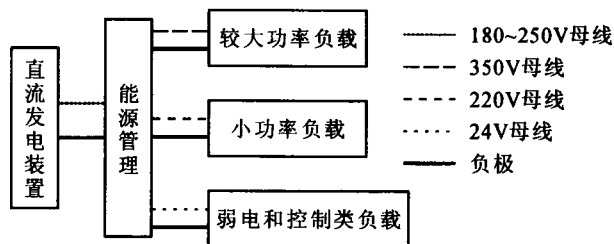


图2 母线电压分级示意图

Fig.2 Bus voltage grades

1.1.1 350 V 母线电压

350 V 母线电压可用于电动汽车充电桩等较大功率的设备,直接向直流充电桩提供350 V 的电源,可减少在DC-AC-DC 转换过程中的能量损失以及DC-AC 和AC-DC 电压转换环节。

1.1.2 220 V 母线电压

220 V 母线电压在本系统中是负荷最大的电压等级。本系统中的住宅电器、酒店设备、办公设备和景观照明等电器是最重要的电力负载,它们都是直流用电设备,均采用直流220 V 供电。

1.1.3 24 V 母线电压

对于弱电设备和控制系统,采用直流24 V 供电,可以提高系统的安全性并降低布线成本。

1.2 直流母线结构

直流供电系统的母线结构可根据蓄电池组的数量和负荷等级,采用两种不同的接线方式:(1)当系统中只有1组蓄电池时,可采用单母线分段或单母线不分段的接线方式;(2)当系统中有2组蓄电池时,采用两段单母线接线,将2组蓄电池组分别接于两段母线段上,两段直流母线之间设置联络电器,两段母线切换时不中断供电,允许2组蓄电池短时并联运行,蓄电池组及充电装置经隔离和保护电路再分别接入不同的母线段。直流供电系统的母线结构如图3所示^[2]。由于在本直流供电系统中的主要负荷是商业和住宅直流用电设备,因此,选用2组蓄电池,2套充电装置,母线结构采用单母线分段结构(图3(a))。

1.3 直流插座灭弧

与交流负载相比,通断直流负荷时更容易产生电弧危害。因此,在直流系统中灭弧措施是必不可少的。在直流母线进线处的直流断路器中,采用永磁场吹弧技术配合平衡式快速分离结构,以确保直流电弧的可靠分断。在母线的末端,若采用直接插拔的方式接入或断开用电负载的话,很容易产生电弧危害。目前,市面上还没有适用于商业领域应用的直流插头和插座,安全可靠的直流插头插座是推广全直流供电的关键产品。直流插座中可采用电力电子开关和自动控制技术,对电流、电压及电弧建立暂态过程

小信号模型,通过对小信号分析及实验验证来控制电弧,以确保插头在充分接触好插座导电体前没有电流或只有极小的电流流过,在插头即将与插座分离时断开供电,确保在此暂态过程中没有电流,从而避免电弧的产生.

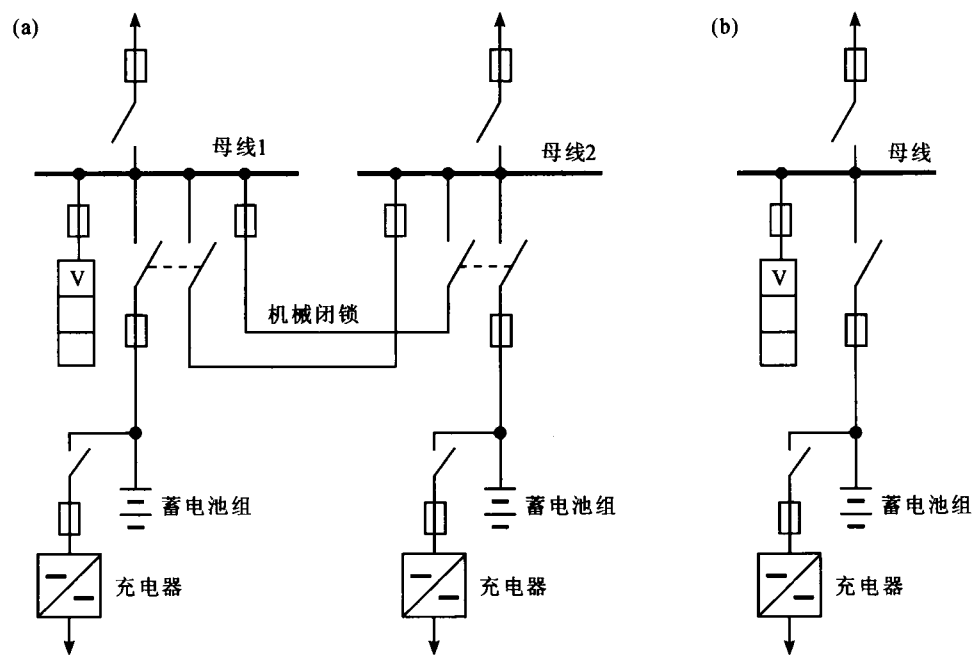


图 3 直流母线的结构形式
(a)单母线分段;(b)单母线不分段
Fig. 3 The structure of direct current bus
(a)sectionalized single-bus configuration;(b)single-bus configuration

为了解决直流插头和插座接触时产生的电弧问题以及对电能进行有效地管理与调度,设计了多功能智能直流插座.该插座具备取电、控制开通/关断、功率与电量测量、过流过压保护及无线通信等功能,同时还具备在电力线路上传输数据的功能,这样就无需另外增加数据传输电缆,既节约了系统的布线成本,又提高了系统的可靠性,智能直流插座的基本功能列于表 1.

表 1 直流智能插座的基本功能
Table 1 The function of DC smart outlet

项目名称	性能指标
基本功能	远程通断控制,没有电弧
电压测量	0~300 V,1 级
电流测量	0~10 A,1 级
功率测量	0~3 kW,1 级
电路保护功能	过流,过压,短路,过热
安全保护	防正负极反接,安全门,开通延时

1.4 电能调度与管理

本项目通过双向能源转换装置和能源管理系统软件来实现电能调度管理策略的最优化.直流微电网的基本结构是由分布式电源、储能元件以及双向能源转换装置组成的.太阳能电池板、风力发电机和燃气机组是整个微电网能源的核心,能源管理系统通过控制蓄电池的充放电,及时调整系统的功率平衡,在用电低谷期,将过剩的电能储存在蓄电池,在用电高峰期,将蓄电池储存的电能并入电网,补充不足的电能.

1.4.1 双向能源转换装置

在直流微电网系统中,双向能源转换装置是实现电能调度的唯一转换环节,高可靠性与高效的双向能源转换装置保证了整体系统的高可靠性与高效率.由于软开关在开通/关断过程中,可实现零电压开关,或零电流开关,因此,采用软开关实现双向功率变换,可显著减小转换器在开关过程中的功率损耗.通过双向能源转换装置与混合型储能装置、负载

等相关联,构成了可实现自我控制、保护和能源调度管理的直流微电网。

由于光伏、风力和燃气发电输出的电压不同,需要通过换流器将各发电设备的输出电压统一调整到蓄电池的额定电压,而蓄电池的额定电压可能高于或低于直流母线电压,因此,需要利用换流器对输出电压进行转换。

1.4.2 直流微电网模型

本系统利用状态空间法建立了多种变流装置的平均模型进行状态空间建模和时域仿真,采用小扰动分析法对含有多种变流装置的直流微电网的电压稳定性进行了研究与探讨。

直流微电网控制技术的核心问题可归结为对各分布式电源输出电压的水平和质量的控制以及对电网电压稳定性的控制。因此,本系统的控制重点是将各分布式电源出口处的电压稳定在设定值。

由于直流微电网不需要对电压的相位和频率进行跟踪,极大地提高了输出电压的可控性和可靠性,因而,更加适合分布式能源与负载的接入。直流微电网仅需一级变流器便能方便地实现与分布式电源和负载的连接,具有更高的转化效率,而直流电在传输过程中由于不需要考虑配电线路的涡流损耗和线路吸收的无功损耗,因此,输电线路损耗得到降低。

(1)光伏电池模型:可以将光伏电池看作一个由电流源、二极管、并联电阻和串联电阻等组成的系统,其简化模型如图4所示^[3-4]。

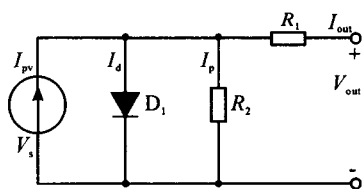


图4 光伏电池模型

Fig.4 Photovoltaic cell model

根据 Kirchhoff 定律,光伏发电电池的输出电压为:

$$I_{out} = I_{pv} - I_d \left[e^{\frac{q(V_{out} + I_{out} \times R_1)}{KT}} - 1 \right] - \frac{V_{out} + I_{out} \times R_1}{R_2} \quad (1)$$

式(1)中: I_{out} —电池输出电流; I_{pv} —光伏产生的总电流,随日照强度而变; I_d —二极管饱和电流; q —电子电量, 1.6×10^{-19} C; K —波尔兹曼常数, 1.38×10^{-23} J/K; V_{out} —电池输出电压; T —电池温度; R_1 —

串联电阻; R_2 —并联电阻。

从式(1)可以看出,光伏电池的输出功率与日照强度和电池温度密切相关,这将会对并网时的功率控制产生一定的影响。

(2)蓄电池模型:由于光伏电池和燃料电池的响应速度慢,输出变动时间保持在 10~200 s,负荷的变动将会给直流微电网的稳定运行带来很大的问题。因此,对于一个直流微电网来说,必须加入一个大型储能元件,以减少电网电压的波动。本项目采用较为通用的电池组模型(图5),该模型能够较好地模拟电池组的充放电特性^[4]。

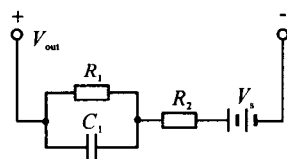


图5 电池组模型

Fig.5 Battery pack model

(3)直流微电网控制系统模型:微电网与上级电网的交互是一个分散式的控制系统,涉及到状态的预测、信息的传递、指令的计算和执行等。为了使分布式电源之间以及电网之间能够协调控制,采用具有很好的自主性和启发性的多级代理系统,将复杂的系统划分成多个彼此相互通信及协调的、易于管理的小的子系统。不同子系统之间既相对独立又相互联系,各子系统之间只有信息的交流,以协同合作的方式进行工作^[5]。

控制系统结构示意图如图6所示。由图6可见,本系统的控制框架分为3层:元件代理、微电网代理和上级电网代理。微电网中的各底层元件(包括发电设备、负荷等)都作为独立的代理运行。同时设定微电网代理对这些代理进行管理,如接收元件代理信息,根据微电网运行状况及时调整为其提供相应的控制策略。微电网代理与上级电网代理之间通过通信协调解决各代理之间的任务划分和共享资源的分配。上级电网代理负责电力市场以及各代理间的协调调度,并综合微电网代理信息做出重大决策。不同的代理还保持一定量的数据通信,以便能更好地保证各自决策的合理性。这种结构与通信方式适应了微电网分布、复杂、灵活的特性。

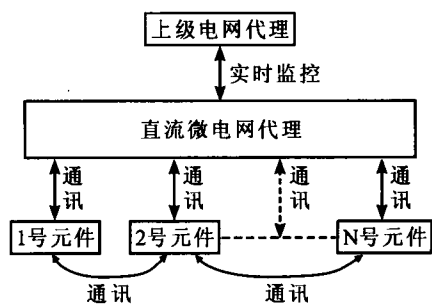


图 6 控制系统结构示意图

Fig. 6 The structure of control system

1. 4. 3 能源管理与调度

利用直流微电网的核心管理软件,完成对智能插座、双向能源转换器以及各类电池状态的数据收集、分析和处理,向各插座和双向能源转换器发送指令,切换工作状态. 管理软件采用 B/S 架构,采用 SQL 数据库管理数据,对历史数据进行人工智能分析处理,所有策略的实现均体现在发给能源转换器及插座的指令类型和指令时间上. 通过提高能源使用效率及调节无关负载的开关时间来实现能源的节约,相对现有的交流微电网,直流微电网的能源利用效率提高了 20%.

2 结 论

350,220 和 24 V 三种电压等级的直流母线供

电电压稳定,性能指标均满足负载对电能质量的要求,在运行期间没有发生故障. 系统的运行数据可及时有效地传送到能源管理和调度中心服务器,为后续的系统分析和改进工作提供了必要的基础数据. 直流插座在满载运行以及在不同类型的设备频繁启动过程中,没有出现明显的电弧,达到了预期的效果.

参考文献:

[1] 雍静,徐欣,曾礼强,等. 低压直流供电系统研究综述[J]. 中国电机工程学报,2013,33(7):42-50.

[2] 陈延鏢. 钢铁企业电力设计手册(上、下册)[M]. 北京:冶金工业出版社,1996.

[3] FREDERICK M, ISHENGOMA, LARS E. Design and implementation of a digitally controlled stand-alone photovoltaic power supply[J]. Nordic Workshop on Power and Industrial Electronics, 2002,12-14:1-5.

[4] MOHAMED AZAB, Improved circuit model of photovoltaic array[J]. International Journal of Electrical Power and Energy Systems Engineering,2009,2:3. 185-188.

[5] ROBYN A, JACKEY. A Simple, effective lead-acid battery modeling process for electrical system component selection mathworks[C]. Detroit,SAE World Congress, 2007.

The application research about direct current power supply in clean energy system

LUO Wanxia,FU He

Electricity Facilities Guangri Guangzhou Co. , Ltd. ,Guangzhou 511447,China

Abstract: An application of direct current power supply in clean energy system is introduced in this paper. To reduce voltage converter and system energy waste, reasonable voltage grades and the structure of direct current bus are selected by analyzing the character of load. In order to avoid harmonic arc when load is connected or disconnected, direct current outlet by power electronics and automation technology are used. Energy using efficiency is improved by multi-agent energy management. There are 350V, 220V and 24V voltage grades in the direct current power supply system, which can meet the requirement of input voltage range. These data are sent to the control center, which is the base for system analysis. The direct current power supply system efficiency increased 20% more than alternating current power supply system by adjusting the switch time of independent load.

Key words: direct current microgrids;direct current bus;energy management system;photovoltaic cell