

基于能源路由器的源网荷储优化管理

徐荆州,肖 晶,许洪华,周恒俊,成乐祥

(国网江苏省电力有限公司 南京供电分公司,南京 210019)

Research on source-grid-load-storage optimization management based on energy router

XU Jing-zhou, XIAO Jing, XU Hong-hua, ZHOU Heng-jun, CHENG Le-xiang

(Nanjing Power Supply Company, State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Nanjing 210019, China)

摘要:为了满足未来电网对电能控制的复杂性和多样性要求,在局部消纳的基础上,以微网、智能小区为自治单元,形成自下而上的能量单元的互联。提出一种源网荷储优化管理的能源路由器拓扑与控制,通过对各个端口的能量管理,实现源网荷储能量的优化管理。

关键词:能源路由器;源网荷储;优化;拓扑结构

Abstract: Based on local consumption, autonomous units of micro-grid and intelligent community form the interconnection of energy units from the bottom up, which can be adapted to the future power grid control with complexity and diversity. A source-grid-load-storage optimization method is proposed to realize the energy optimization management through the energy router topology design and its control along with the energy management of each port.

Key words: energy router; source-grid-load-storage; optimization; network topology

中图分类号:F407.61;TK018 文献标志码:C

随着电力改革和市场化的推进,未来电能交易将越来越自由灵活。由于新能源发电渗入到配电终端,以往的终端用户可在负载和源之间切换,电力系统配电将从目前的“一对多”架构逐渐向“多对多”架构转变,且每个终端可以在买方和卖方之间任意切换,电能流动的多样性大大增加。为了将电能定量、定点、定时地准确调度,电网的各个终端和节点均需要实行能量的主动调度管理,实现能量流的准确可控。而传统的电力系统和电力设备往往被动地调节功率平衡,较难实现对功率流的主动控制与分配。

针对上述问题,本文提出的基于电力电子变流技术的能源路由器^[1-5]能够提供对源网荷储优化管理的能源路由器拓扑与控制,为各种类型的分布式电源、储能设备和新型负载提供所需的电能接口形式,并按用户所需精确地控制配电网络内各节点的能量流方向和大小,实现能量的高效接入和利用。同时,能源路由器作为电力局域网与主干网的交互接口,一方面负责局域网内部各个设备的运行和能量管理,另一方面接收上层电力调度中心的指令并上传局域网的运行状态,为实现电力市场化提供技术支撑。

收稿日期:2018-08-15;修回日期:2018-10-11

基金项目:江苏省电力有限公司2017年科技项目“具有感知的多能灵活转换的能源路由器研究”(J2017075)

作者简介:徐荆州(1981),男,安徽安庆人,博士,高级工程师,从事智能化规划工作;肖晶(1981),女,江苏徐州人,高级工程师,从事电网规划管理工作。

1 整体架构

图1是源网荷储优化管理的能源路由器拓扑装置的结构图,包括能量管理与控制中心、AC/DC变换器、3个DC/DC变换器、直流母线、1个通信端口和4个接入端口。其中,AC/DC变换器的一端与直流母线相连,另一端经端口1接入交流配电网与交流负载的连接处;DC/DC变换器的一端与直流母线相连,另一端可分别接与分布式电源、储能电池、直流负载相连,能量管理与控制中心的通信端与AC/DC变换器、DC/DC变换器、电网电压监测、交流负载信息采集、上级调度等对应的通信端口相连。

AC/DC变换器采用了对称与不对称混合子模块结构,连接中压交流配电网时,能够自动阻断多

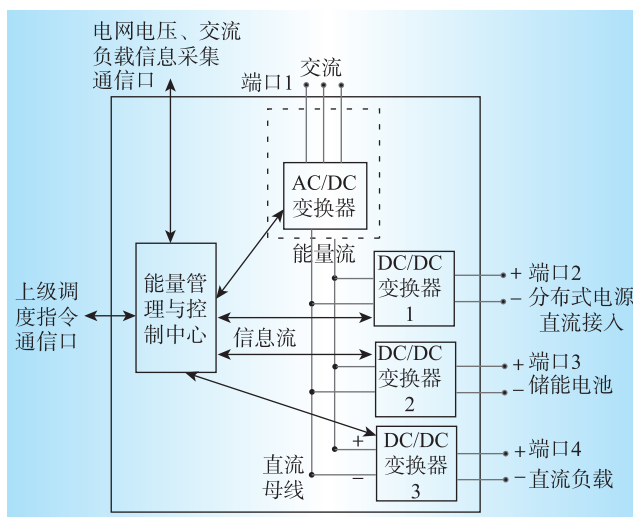


图1 能源路由器拓扑装置的结构图

电平换流器直流侧的故障电流。与太阳能光伏发电相连时,通过控制光伏电池板的直流电压,调整光伏电池板的最大功率输出。

DC/DC 变换器是升压/降压斩波电路,或直流/高频变/直流电路。其中,直流/高频变/直流电路需要输入输出隔离或在电压等级差很大时采用,其线性化控制方程如下

$$d[k] = \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{x[k] \times V_s}{v_i}} \right) \quad (1)$$

$$x[k] = k_p(v_{\text{ref}} - V_s) + k_i \int (v_{\text{ref}} - V_s) dt$$

式中: v_i 为直流/高频变/直流电路的输入电压; V_s 为直流/高频变/直流电路的输出电压; v_{ref} 为直流/高频变/直流电路输出电压给定值; $d[k]$ 为直流/高频变/直流电路的控制占空比,该占空比为直流/高频变/直流电路中开关管 IGBT 的控制信号。

2 控制方法

源网荷储优化管理的能源路由器拓扑装置的控制策略如下:

(1) 电网高峰期,能源路由器控制分布式电源和储能电池放电输出功率,不足部分由电网提供。能量管理与控制中心通过通信口测量交流负载功率 P_{lac} 和直流负载功率 P_{ldc} 来控制分布式电源功率 P_{DG} 和储能充放电功率 P_{ESS} , 设 AC/DC 变换器经端口 1 的输出功率为 P_r , 对分布式电源进行最大功率跟踪控制, 则能源路由器端口 1 的输出功率 $P_r = P_{\text{DG}} + P_{\text{ESS}} - P_{\text{ldc}} \leq P_{\text{lac}}$, 且约束条件为

$$\frac{dP_{\text{ESS}}}{dt} < k_1 \frac{dP_{\text{lac}}}{dt} + k_2 \frac{dP_{\text{ldc}}}{dt} - k_3 \frac{dP_{\text{DG}}}{dt} \quad (2)$$

式中: k_1 、 k_2 、 k_3 为系数,其值大于 0.1 小于 2。

(2) 电网低谷期,交流负载由配电网供电,储能电池处于充电控制。能量管理与控制中心通过控制分布式电源功率 P_{DG} 和储能充放电功率 P_{ESS} 满足 $P_r + P_{\text{DG}} = P_{\text{ESS}} + P_{\text{ldc}}$, 且约束条件为

$$\frac{dP_{\text{ESS}}}{dt} < -k_2 \frac{dP_{\text{lac}}}{dt} + k_3 \frac{dP_{\text{DG}}}{dt} \quad (3)$$

通过式(3)得到储能充放电功率 P_{ESS} 值,第二 DC/DC 变换器根据 P_{ESS} 值控制储能充放电功率。

(3) 根据上级调度指令,要求输出功率 P_r , 则控制分布式电源功率 P_{DG} 和储能充放电功率 P_{ESS} 满足

$$P_{\text{DG}} + P_{\text{ESS}} = P_r + P_{\text{ldc}} \quad (4)$$

第一 DC/DC 变换器直接对分布式电源做最大功率跟踪控制,其输出为 P_{DG} ; 通过式(4)得到储能充放电功率 P_{ESS} 值,第二 DC/DC 变换器根据 P_{ESS} 值控制储能充放电功率。

(4) 为实现损耗最小、分布式电源利用率最大、供

电质量最高,所述能源路由器总损耗最小的优化目标为

$$\min Total_{\text{loss}} = Loss_1 + Loss_2 + Loss_3 + Loss_4 \quad (5)$$

式中: $Loss_1$ 、 $Loss_2$ 、 $Loss_3$ 、 $Loss_4$ 分别为 AC/DC 变换器和 3 个 DC/DC 变换器的损耗; $Total_{\text{loss}}$ 为所述能源路由器的总损耗。在实现总损耗最小的目标下,确定各变换器损耗值,再根据各变换器的损耗值,确定各变换器的功率值。

(5) 电网故障时,能量管理与控制中心检测到电网故障且供电开关跳开,该装置转换 AC/DC 变换器控制功能,由功率控制转换为 V/F 控制,为交流负载供电,控制储能,使其输出相应的功率

$$P_{\text{lac}} = P_{\text{DG}} + P_{\text{ESS}} + P_{\text{ldc}} \quad (6)$$

式中: P_{lac} 为交流负载功率。

3 实际案例

某综合楼光伏发电的应用连接示意图如图 2 所示,分布式电源、储能、直流负载均接入能源路由器,能源路由器对能量进行统一管理,与电网相连。电网正常时,能源路由器的 AC/DC 变换器维持直流母线电压的稳定;电网故障时,能源路由器的 AC/DC 变换器采取 V/F 控制模式,输出稳定的交流电压,维持交流负载的供电。

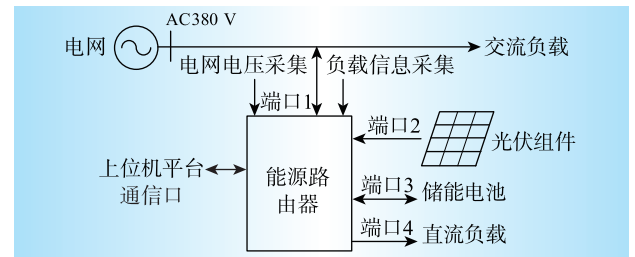


图2 具体应用连接示意图

当能源路由器应用于 10 kV 以上电压时,其 AC/DC 变换器采用图 3 所示的级联混合 AC/DC 的拓扑图。

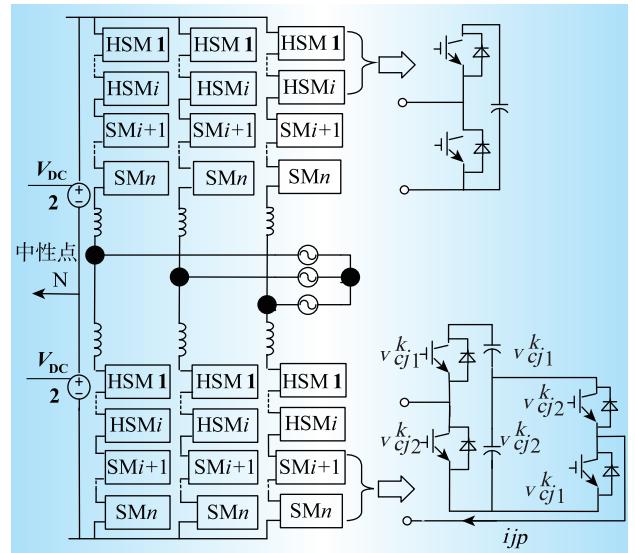


图3 级联混合 AC/DC 的拓扑图

(下转第 21 页)