

Heat-supply of thermal power plant in wind-heat conflict

LÜ Quan¹, HU Bingting¹, WANG Haixia¹, ZHANG Na², LIU Le³

(1. College of Electrical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;

2. State Grid Liaoning Electric Power Company Limited Economic Research Institute, Shenyang 110015, China;

3. Jilin Electricity Trading Center Co., Ltd., Changchun 130021, China)

Abstract: The total operational cost of CHP(Combined Heat and Power) unit is divided into power-generation cost and heat-supply cost to realize their separate calculations. The mechanism of wind-heat conflict is analyzed and two modes of CHP unit reconstruction (installation of heat accumulator or electric boiler) for improving its operational flexibility are discussed on working principle and effectiveness. A heat-supply analytical model with the minimum total energy consumption of CHP system as its object is established. The heat-supply strategies of thermal power plant before and after flexibility reconstruction are studied and the effectiveness and optimal thermal load of installed heat accumulator or electric boiler is discussed. Case study verifies the validity of theoretical analysis and the given conclusions provide references for decision-making.

Key words: wind-heat conflict; wind-power accommodation; combined power and heat system; flexibility reconstruction; heat accumulator; electric boiler

适用于多能协同运行的 MMC 型三端主动电力调节系统

陆晶晶^{1,2}, 贺之渊^{1,3,4}, 赵成勇², 杨杰¹, 吴亚楠¹

(1. 全球能源互联网研究院, 北京 102200; 2. 华北电力大学 电气与电子工程学院, 北京 102206;
3. 先进输电技术国家重点实验室, 北京 102200; 4. 直流电网技术与仿真北京市重点实验室, 北京 102200)

摘要: 为了实现多能互补微网中分布式能源的有效利用、对本地负荷的可靠优质供电以及微网与主网之间功率的灵活调配, 基于模块化多电平换流器型统一电能质量控制器(MMC-UPQC), 提出一种 MMC 型三端主动电力调节系统, 讨论并分析了 MMC 型三端主动电力调节系统的组成及其在多能互补微网中的运行模式, 设计了协调控制策略以实现微网中电能质量综合治理兼顾微网与主网之间功率可控调节的一体化功能。通过 PSCAD/EMTDC 仿真分析验证了 MMC 型三端主动电力调节系统在多能互补微网中综合实现电能质量治理和灵活优质供电功能的可行性和有效性。

关键词: 模块化多电平换流器; 三端主动电力调节系统; 协调控制; 多能互补; 电能质量

中图分类号: TM 761; TM 46

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2017.06.032

0 引言

分布式能源的有效利用、对本地负荷的可靠优质供电以及微网与主网之间的功率调配是微网需要解决的关键问题^[1-4], 而基于电力电子拓扑结构的电力调节系统是解决上述问题的核心技术^[5-10]。针对微网的电能质量问题, 文献[5]提出了在微网交流母线和配网公共连接点之间并入有源电能质量调节器, 以保持公共连接点电流的波形质量及平衡三相电压; 文献[7]提出了利用光伏并网逆变器来抑制电能质量问题; 针对微网与主网之间的功率交换问题, 文献[8]则提出了在微网和传统电网的公共连接点处串联电能质量控制器, 以实现潮流可调、限制过电压和过电流、软起动等功能。目前, 很少有文献针对上述 2 个问题进行综合的研究。模块化多电平换流器型统一电能质量调节器(MMC-UPQC)对于电能质量问题具有较强的综合治理能力^[11-12]。由于背靠背的结构特点, 其在功率可控传输及分布式能源并网等方面也具有巨大的应用潜力。与单一的分布式并网逆变器或者电能质量补偿装置相比, MMC-UPQC 具有结构紧凑、成本相对较低以及控制能力强等优点^[13]。因此, 本文基于 MMC-UPQC 的结构及功能在多能互补微网中的应用进行拓展, 提出一种全新的 MMC 型三端主动电力调节系统, 通过三端背靠背的结构实现对多种能源发电的综合利用, 初步探索以直流电网解决区域性新能源消纳及储能并网的新形式。

本文首先介绍 MMC 型三端主动电力调节系统

拓扑结构及其在微网中的运行模式, 然后提出相应的协调控制策略以实现微网中电能质量综合治理兼顾微网与主网之间功率可控调节的一体化功能, 确保关键性负荷的可靠供电, 最后通过 PSCAD/EMTDC 仿真验证 MMC 型三端主动电力调节系统多功能控制的可行性和有效性。

1 三端电力调节系统结构及连接方式

如图 1 所示, 三端主动电力调节系统由主网变换器、微网并联变换器、微网串联变换器、串联耦合变压器和辅助开关组成, 3 个 MMC 结构换流器通过公共直流母线相连。与 MMC-UPQC 相比, 为了实现主网与微网之间的连接, 图 1 中增加了一个基于 MMC 的 AC/DC 变换器——主网变换器, 与微网并联变换器构成背靠背的主网与微网之间的连接系统。这种连接方式的优点在于, 主网与微网之间可以实现有功和无功功率可控的双向流动; 当微网电源容量不足时, 主网可以通过微网并联变换器为微网提供一定的有功和无功功率; 当微网电源容量充足且有冗余时, 可以通过主网变换器的功率控制向上层配网反送功率。另外, 主网与微网之间的背靠背连接方式使得主网的故障、谐波等问题对微网的影响大幅降低, 同时又可以通过微网并联变换器的控制补偿微网中非线性不平衡负荷的谐波、负序和无功电流, 从而减小其对微网尤其是关键性负荷的影响。光伏或储能系统可以接入 MMC 型三端主动电力调节系统的直流侧, 既可以支撑直流侧的电压, 又可以通过微网并联变换器与微网进行功率交换。MMC 型三端主动电力调节系统的微网串联变换器串接于关键性负荷的馈线中, 用于保证当微网中出现故障导致母线电

收稿日期: 2017-01-22; 修回日期: 2017-04-10

基金项目: 国家电网公司科技项目(SGRIZLKJ[2015]457)

Project supported by the Science and Technology Project of State Grid Corporation of China(SGRIZLKJ[2015]457)

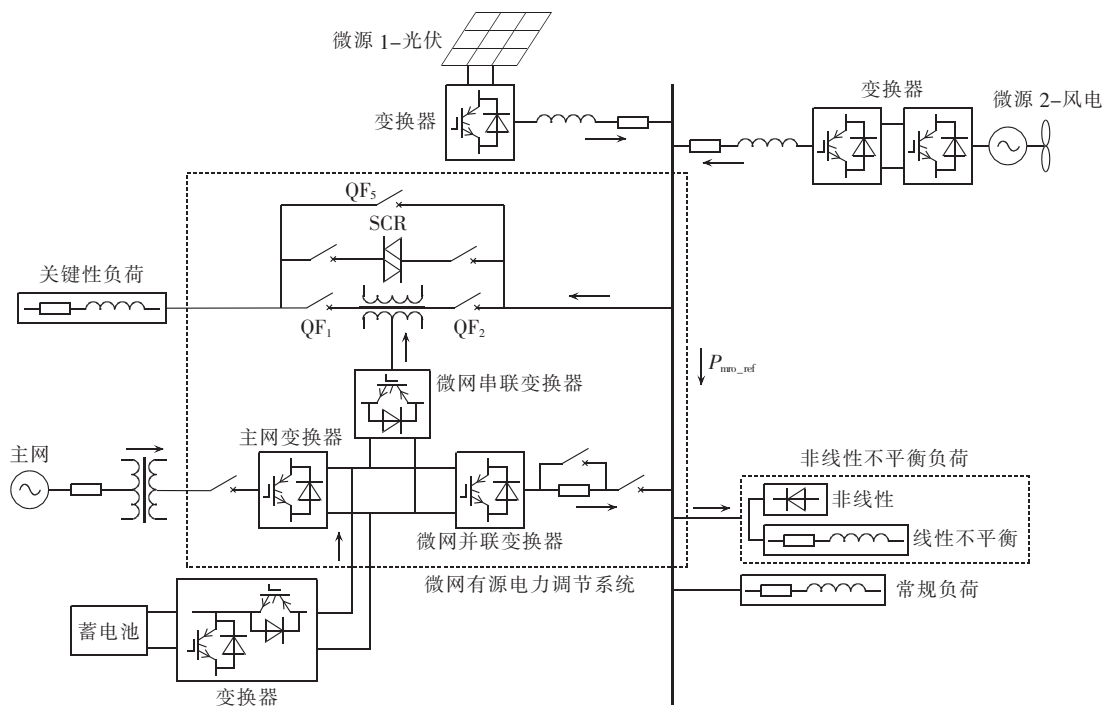


图 1 MMC 型三端主动电力调节系统的结构及接线方式示意图

Fig.1 Schematic diagram of constitution and connection of MMC-based active three-terminal power conditioner

压降低时,关键性负荷仍能够得到充足的电压支撑,提高供电可靠性。

2 三端电力调节系统的运行模式

本文将 MMC 型三端主动电力调节系统的运行模式分为并网运行和离网运行 2 种,考虑直流侧接入储能系统,对 MMC 型三端主动电力调节系统的运行模式进行如下具体分析。

2.1 并网运行模式

根据有功功率的流向,在并网运行模式下,MMC 型三端主动电力调节系统包括以下运行方式。

a. 方式 1:当微网中的微源容量不足导致微网自身无法充足供电时,负荷的额外需求由主网和直流侧并入的储能系统共同承担。一方面,主网和储能系统通过微网并联变换器为微网提供适当的有功功率;另一方面,当非线性不平衡负荷产生一定的谐波、负序和无功电流时,微网并联变换器可以产生相应的补偿电流对电流质量进行治理,以保证微网内关键性负荷的优质供电。有功功率流动方向如图 2(a)所示。

b. 方式 2:当微网中的微源容量充足且有富余功率时,一方面,微网中的富余功率通过微网并联换流器和主网换流器送入主网;另一方面,微网并联换流器又可以通过微网并联换流器给储能系统充电。此时,微网并联变换器同样可以对非线性不平衡负荷产生的谐波、负序和无功电流进行补偿。有功功率流动方向如图 2(b)所示。

在上述 2 种运行方式下,串接于关键性负荷所在线路的微网串联变换器可以在微网公共母线出现电压暂降时保证关键性负荷的电压在允许范围内。此外,当主网发生短路等故障引起电网电压暂降时,由于主网与微网之间通过变换器及直流隔离,加之直流电压有储能支撑,能够起到缓冲作用,有效降低主网对微网的影响。

2.2 离网运行模式

在离网运行模式下,用于连接主网与微网的主网变换器闭锁停止运行,根据储能系统的运行状态,MMC 型三端主动电力调节系统仍然可以分为 2 种运行方式。

a. 方式 1:在储能系统投入运行情况下,若储能系统的能量充足,储能系统既可以维持直流侧电压,又可以通过微网并联变换器为微网提供适当的有功功率;当储能系统的能量不足时,储能系统仅用于维持直流侧电压,而此时,若微网中的微源容量充足且有富余功率,微网中的富余功率可以通过微网并联变换器为储能系统充电。在 2 种情况下,微网并联变换器均可以对非线性不平衡负荷产生的谐波、负序和无功电流进行补偿,微网串联变换器也继续维持关键性负荷所在线路的母线电压。有功功率流动方向如图 3(a)所示。

b. 方式 2:当储能系统退出运行时,MMC 型三端主动电力调节系统退化为仅用于电能质量综合治理的 MMC-UPQC,而不再承担功率柔性输送的功能。

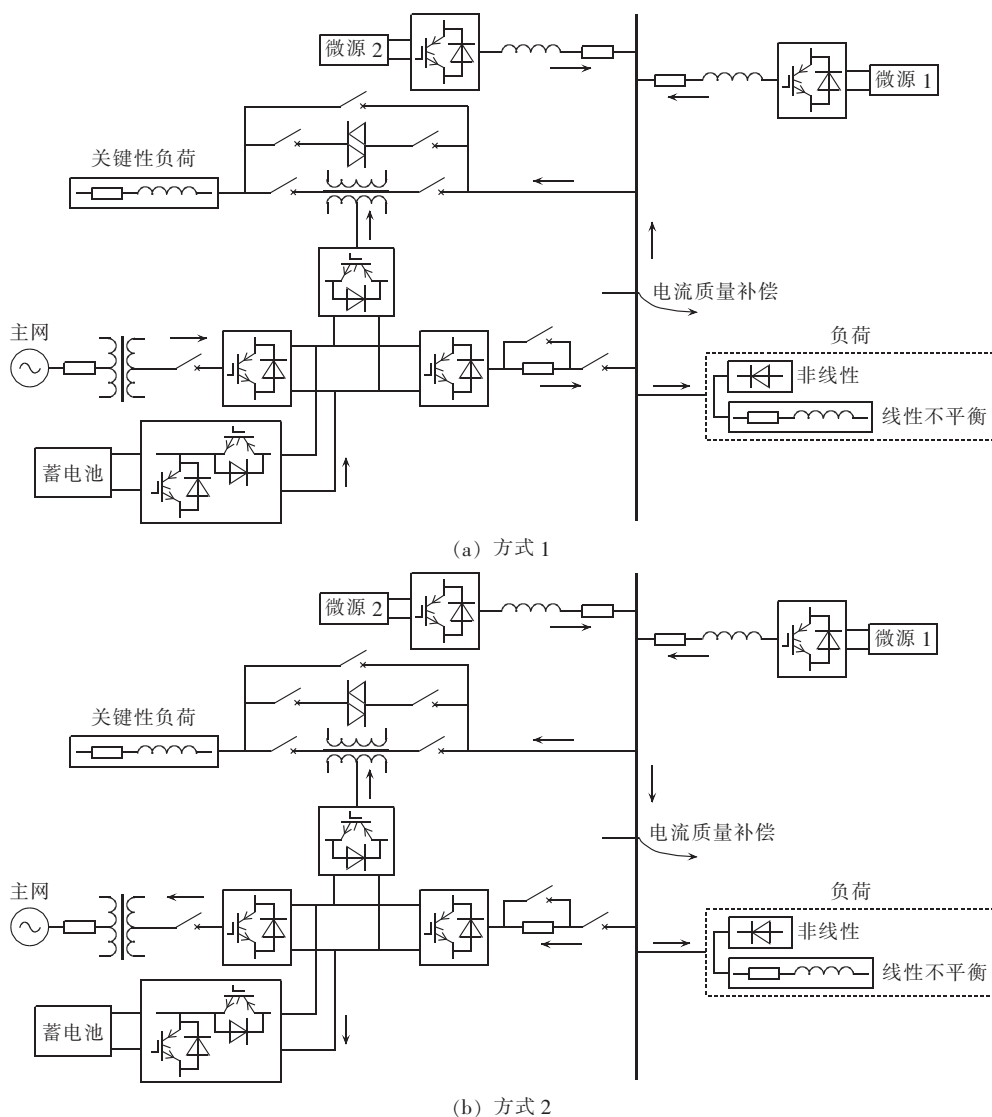


图 2 MMC 型三端主动电力调节系统并网运行模式

Fig.2 Grid-connecting modes of MMC-based active three-terminal power conditioner

微网并联变换器一方面从微网中吸收一定的有功功率来维持 MMC 型三端主动电力调节系统的直流电压;另一方面对非线性不平衡负荷产生的谐波、负序和无功电流进行补偿。微网串联变换器同样继续维持关键性负荷所在线路的母线电压。有功功率流动方向如图 3(b)所示。

3 三端电力调节系统的控制策略

本文中,为实现 MMC 型三端主动电力调节系统在微网功率传输以及电能质量治理方面的综合作用,采用分层控制策略。上层控制系统一方面负责监测电网运行状态,从而确定主网与微网之间的通断,另一方面监测储能状态,从而确定下层控制系统的控制策略;下层各控制器的控制系统在接收上层指令后采取相应的控制策略。下层控制中,主网变换器与微网并联变换器采用 dq 解耦控制,微网串联变换器采用三相分相控制。微网串联变换器的电压暂降补偿

功能与文献[11]相同,本文不再赘述,重点介绍主网变换器与微网并联变换器的控制策略。

3.1 主网变换器控制策略

图 4 给出了主网变换器的控制策略。图中, u_{sa} 、 u_{sb} 、 u_{sc} 为主网侧系统三相电压; u_a 、 u_b 、 u_c 为变换器出口侧三相电压; u_{1d} 、 u_{1q} 分别为 u_a 、 u_b 、 u_c 经过 abc/dq 坐标变换之后的 d 、 q 轴分量; u_d 、 u_q 为变换器控制系统输出的电压参考值; u_{dref} 、 u_{qref} 、 u_{cref} 为 u_d 、 u_q 经过 dq/abc 坐标变换之后的三相电压参考值; i_{pa} 、 i_{pb} 、 i_{pc} 为流向变换器的三相电流; i_d 、 i_q 分别为 i_{pa} 、 i_{pb} 、 i_{pc} 经过 abc/dq 坐标变换之后的 d 、 q 轴分量; i_{dref} 、 i_{qref} 分别为控制器外环输入的电流 d 、 q 轴分量; U_{dc_ref} 、 U_{dc} 分别为直流电压参考值和直流电压; θ 为锁相环(PLL)得到的系统参考相位角; L_{req} 为变换器等效电感。在联网运行条件下,为了保证电网与微网之间有功功率的双向互动,主网变换器在 d 轴上采用定直流电压控制:当微网侧从主网中汲取有功功率时,直流侧的电压会

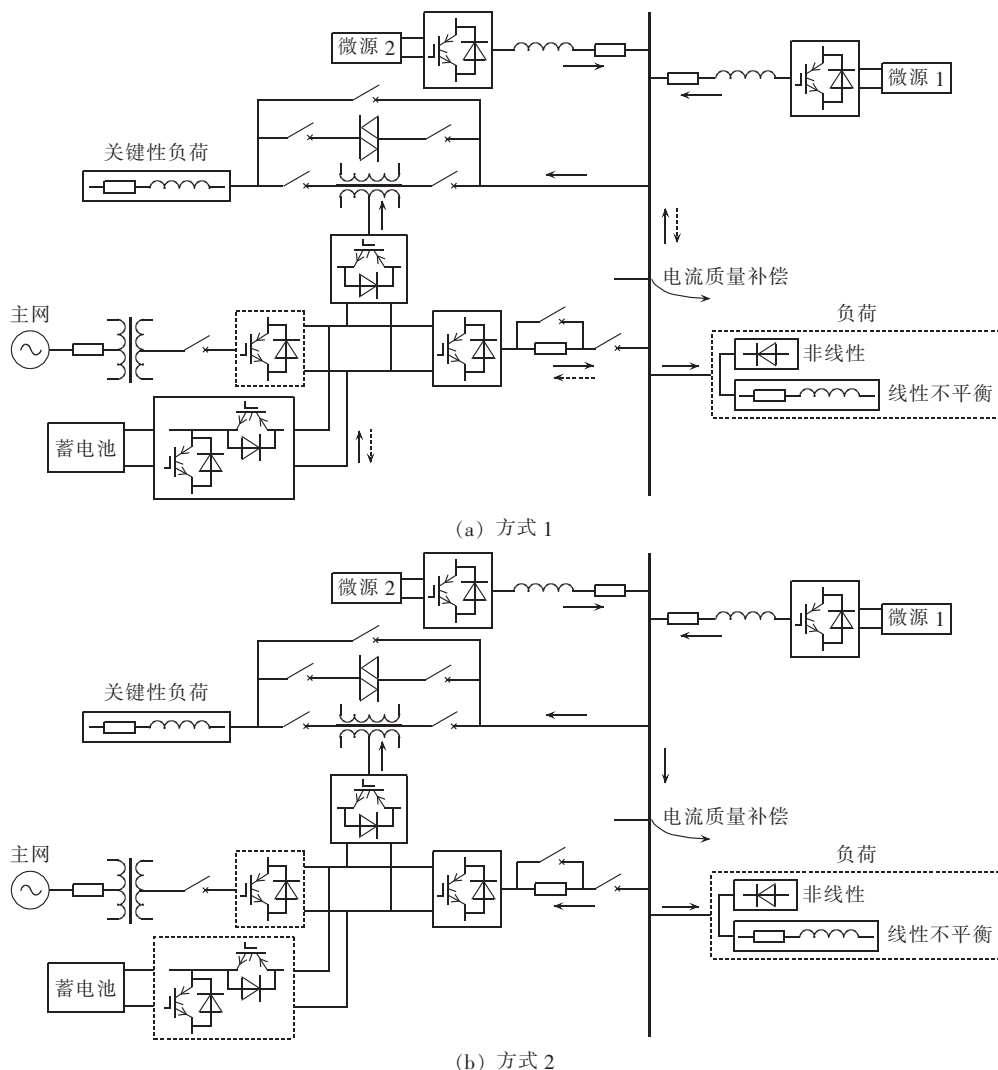


图 3 MMC 型三端主动电力调节系统离网运行模式
Fig.3 Islanding modes of MMC-based active three-terminal power conditioner

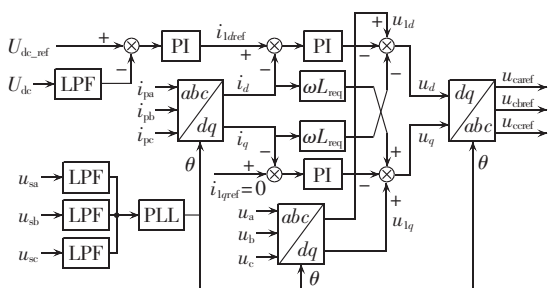


图 4 主网变换器控制策略

Fig.4 Control strategy of grid converter

下降,此时通过主网侧增加有功功率的方式来保证直流电压的稳定;当微网侧有多余的功率送往主网时,直流电压会升高,此时通过从主网变换器中汲取适当的有功功率将直流电压降低到指定值。而为了减小主网侧变换器对主系统的无功功率需求,在 q 轴上采用零无功电流控制方式。

此外,在并网转离网运行过程中,主网变换器闭锁,微网转入离网运行模式。此时 MMC 型三端主动

电力调节系统直流侧电压的稳定控制由接入直流侧的储能系统或由微网并联变换器提供,直流电压基本保持恒定,从而起到对功率波动的缓冲作用,实现并网和离网运行状态之间的平滑切换,主网变换器在微网离网模式下退出运行。

3.2 微网并联变换器控制策略

图 5 给出了微网并联变换器的控制策略。图中, $P_{\text{mro_ref}}$ 为微源向并联变换器以及非线性不平衡负荷输送的有功功率; $i_{\text{la}}, i_{\text{lb}}, i_{\text{lc}}$ 为非线性及线性不平衡支路的三相电流; $\bar{i}_{\text{ld}}, \bar{i}_{\text{dq}}$ 分别为 $i_{\text{la}}, i_{\text{lb}}, i_{\text{lc}}$ 经过 abc/dq 坐标变换和低通滤波之后的 d, q 轴分量。除了与 MMC-UPQC 并联侧相同的非线性不平衡负荷的谐波、负序和无功电流补偿控制以外, 在 d 轴的有功功率控制部分又包含 2 种选择性的控制模式, 即定电压控制和定有功控制。上层控制系统通过检测蓄电池直流电压判断直流侧储能是否能提供足够的电压支撑, 并由微网并联变换器接收并执行相应的控制指令。如图 5 所示, K 与 $\bar{K}$ 为控制通道切换指令信号,

当上层控制系统检测微网处于并网或离网但判断储能充足时,令 K 置 0, $\bar{K}$ 置 1, 微网并联变换器在 d 轴采用定功率控制, 其控制对象为微网送至并联变换器以及非线性不平衡负荷的有功功率; 当上层系统检测到微网处于离网且判断储能不足时, 令 K 置 1, $\bar{K}$ 置 0, 微网并网变换器的 d 轴切换至直流电压控制, 通过从微网侧吸收一定的有功功率来维持 MMC 型三端主动电力调节系统的直流侧电压, 从而保证其具有并联侧电能质量综合治理和串联侧支撑关键性负荷电压的功能。

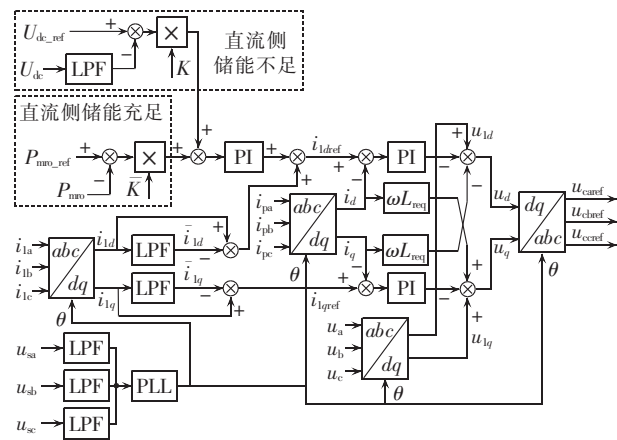


图 5 微网并联变换器控制策略

Fig.5 Control strategy of microgrid shunt converter

4 仿真分析

为了对上文提出的 MMC 型三端主动电力调节系统的运行模式和控制策略进行仿真验证, 以图 1 所示微网系统为例, 在 PSCAD/EMTDC 环境下搭建了仿真模型。微网中包含采用下垂控制的太阳能电池、风机、蓄电池组及其并网变换器、关键性负荷以及具有非线性、不平衡和无功需求特性的负荷。MMC 型三端主动电力调节系统的三端变换器均采用 MMC 结构, 且直流侧并联有储能系统。下述仿真中的功率方向以图 1 所示的方向为参考。

4.1 并网运行模式下控制策略的仿真验证

在并网运行模式下, 设定初始运行时微源向微网并联变换器以及非线性不平衡负荷输送的有功功率为 $P_{mro_ref}=0.1$ MW; 在 1.5 s 时, 改变有功功率方向, $P_{mro_ref}=-0.04$ MW, 如图 6 所示。

由图 6 可以看出, 在 1.5 s 以前, 微源向并联变换器和非线性不平衡负荷输送的有功功率为 0.1 MW, 而由于微网并联变换器的无功补偿功能 (如图 7 所示), 微源不对非线性不平衡负荷进行无功补偿, 也不向微网并联变换器提供无功功率; 1.5 s 时, 有功功率跟踪参考值 P_{mro_ref} 的变化, 由 0.1 MW 转变为 -0.04 MW, 即微网并联变换器为微网关键性负荷提供 0.04

MW 的有功功率。此时, 微源根据下垂控制特性做出相应的输出有功功率减小, 而由于无功功率没有发生变动, 各微源输出的无功功率保持不变 (如图 8 所示)。微源在并网模式下的下垂控制方法参考文献 [14], 此处不再赘述。

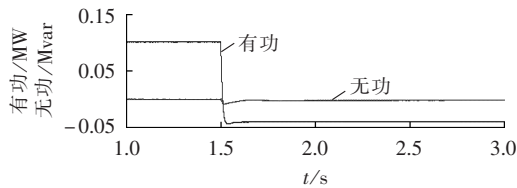


图 6 微源向并联变换器和非线性不平衡负荷输送的功率

Fig.6 Powers transmitted from micro-sources to shunt converter and nonlinear unbalanced loads

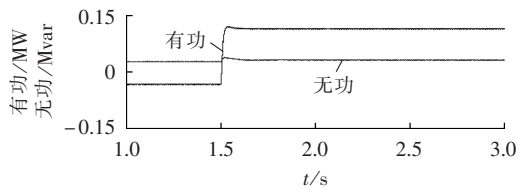


图 7 并联变换器向微网输送的功率

Fig.7 Powers transmitted from shunt converter to microgrid

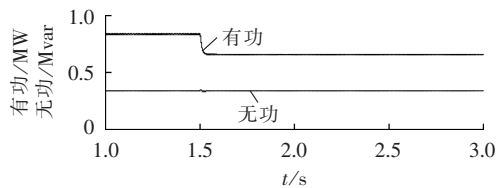


图 8 微源输出的功率

Fig.8 Output powers of micro-sources

为了验证在主网发生故障时, 微网也能够保证对负荷的持续供电, 仿真设置了在 2 s 时主网系统高压侧发生三相经电阻短路接地故障, 使得主网的系统电压发生暂降, 如图 9 所示。在此期间, 微网主动电力调节系统的直流侧电压发生了较小的波动, 但由于直流侧有储能系统的支撑, 直流电压很快恢复恒定, 如图 10 所示, 从而避免了因主网故障对微网造成的不利影响。

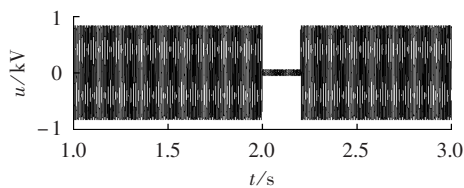


图 9 主网高压侧三相电压

Fig.9 Three-phase voltages of grid HV-side

4.2 离网运行模式下控制策略的仿真验证

设定微网初始状态为并网运行, $P_{mro_ref}=-0.04$

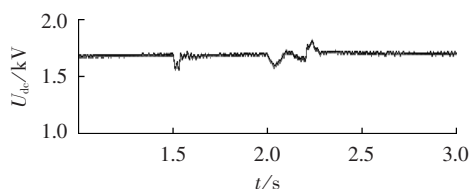


图 10 三端主动电力调节系统公共直流母线电压

Fig.10 Common DC voltage of active three-terminal power conditioner

MW; 在 1 s 时, 闭锁主网变换器, 微网由并网运行转为离网运行; 在 1.5 s 时, 改变功率为 $P_{\text{mro_ref}}=0.1$ MW。

图 11 给出了主网送入微网的有功和无功率曲线。可以看出, 1 s 时 MMC 型三端主动电力调节系统的主网变换器闭锁, 有功功率开始下降, 并最终降为 0。由图 12 的直流侧电压曲线可以看出, 在闭锁期间, 直流侧电压略微下降, 但在储能系统的支持下, 直流电压仍然保持稳定, 储能系统承担微网并联变换器向微网输送的有功功率。

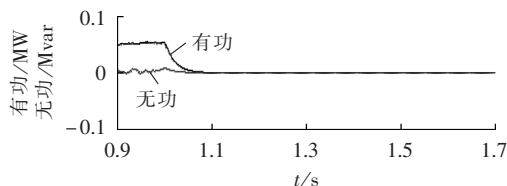


图 11 主网送入微网的功率

Fig.11 Powers transmitted from grid to microgrid

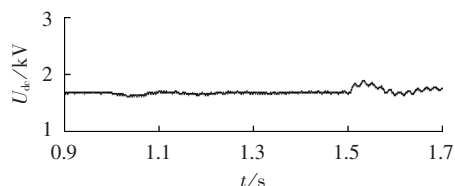


图 12 三端主动电力调节系统公共直流母线电压

Fig.12 Common DC voltage of active three-terminal power conditioner

图 13 给出了直流侧有储能系统支撑的微网离网运行模式下, 微网并联变换器的补偿效果(从上至下分别为微网母线电压以及微网并联变换器的补偿前和补偿后电流)。可以看出, 在离网运行模式下,

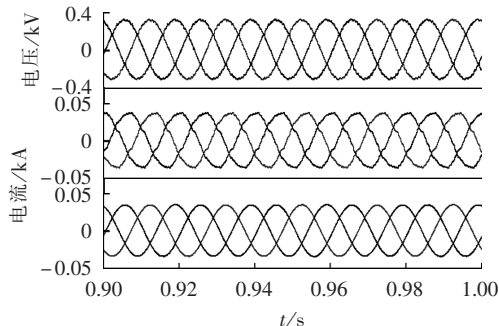


图 13 电流质量补偿效果

Fig.13 Effect of current quality compensation

微网并联变换器的电流补偿效果仍然较好。

图 14—16 分别给出了微源输送至微网并联变换器和非线性负荷的功率、微网并联变换器提供给关键性负荷的功率以及各微源的输出功率曲线。可以看出, 在微网从并网转离网的过程中, 由于储能系统的支持, 微网中的功率基本没有波动; 在 1.5 s 时, 有功功率跟踪参考值 $P_{\text{mro_ref}}$ 的变化, 由 -0.04 MW 转变为 0.1 MW, 即微源向微网并联变换器和非线性不平衡负荷提供 0.1 MW 的有功功率, 此时各微源按照下垂特性改变输出功率(如图 15 所示), 直流电压由于储能系统的支持波动较小(如图 12 所示)。

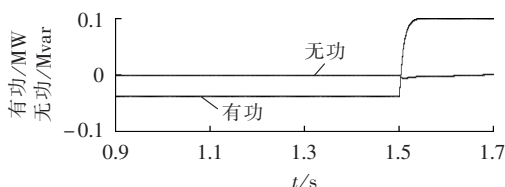


图 14 微源向并联变换器和非线性不平衡负荷输送的功率

Fig.14 Powers transmitted from micro-sources to shunt converter and nonlinear unbalanced loads

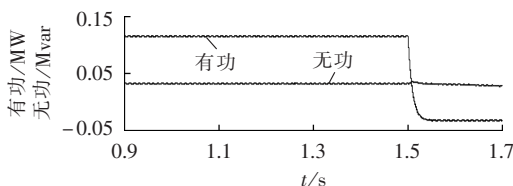


图 15 并联变换器向微网输送的功率

Fig.15 Powers transmitted from shunt converter to microgrid

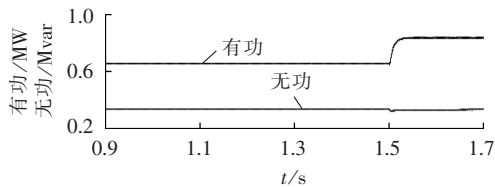


图 16 微源输出的功率

Fig.16 Output powers of micro-sources

图 17 给出了直流侧有储能系统支撑的离网运行情况下, 微网母线在 1 s 发生三相经电阻短路接地故障时微网母线电压(曲线 1)、关键性负荷侧电压(曲线 2)以及微网串联变换器的暂降补偿电压(曲线 3)波形。可以看出, 在故障期间微网串联变换器

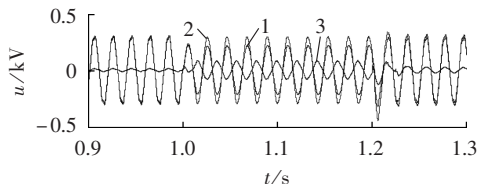


图 17 电压暂降补偿效果

Fig.17 Effect of voltage sag compensation

仍然能够对关键性负荷起到较好的电压支撑作用。

5 结论

本文基于MMC-UPQC拓扑结构,提出了一种MMC型三端主动电力调节系统,介绍并讨论了其在多能互补微网中的接线方式、运行模式和控制策略。在PSCAD/EMTDC仿真系统中搭建了含有MMC型三端主动电力调节系统的微网模型,仿真验证了所提出的系统结构具有如下特点:

a. 能够有效地实现微网与主网之间的功率传输,实现联网与离网2种模式的切换,且能够有效减小主网对微网可能造成的影响;

b. 能够通过微网串、并联变换器配合实现对电压暂降、暂升的补偿以及电能质量的综合治理功能;

c. 能够根据电网运行需求实现功率传输与电能质量综合治理一体化功能,提高了装置应用灵活性及利用效率。

参考文献:

- [1] 唐西胜,邓卫,李宁宁,等. 基于储能的可再生能源微网运行控制技术[J]. 电力自动化设备,2012,32(3):99-103.
TANG Xisheng,DENG Wei,LI Ningning,et al. Control technologies of micro-grid operation based on energy storage[J]. Electric Power Automation Equipment,2012,32(3):99-103.
- [2] 李鹏,窦鹏冲,李雨薇,等. 微电网技术在主动配电网中的应用[J]. 电力自动化设备,2015,35(4):8-16.
LI Peng,DOU Pengchong,LI Yuwei,et al. Application of micro-grid technology in active distribution network[J]. Electric Power Automation Equipment,2015,35(4):8-16.
- [3] 周稳,戴瑜兴,毕大强,等. 交直流混合微电网协同控制策略[J]. 电力自动化设备,2015,35(10):51-57.
ZHOU Wei,DAI Yuxing,BI Daqiang,et al. Coordinative control strategy for hybrid AC-DC microgrid[J]. Electric Power Automation Equipment,2015,35(10):51-57.
- [4] 曾正,徐盛友,冉立,等. 应用于交流微电网谐振抑制的有源阻尼器及控制[J]. 电力自动化设备,2016,36(3):15-20.
ZENG Zheng,XU Shengyou,RAN Li,et al. Active damper and its control for harmonic resonance damping of AC microgrid[J]. Electric Power Automation Equipment,2016,36(3):15-20.
- [5] 吴在军,杨雷雷,胡敏强,等. 改善微网电能质量的有源电能质量调节器研究[J]. 电网技术,2012,36(7):67-73.
WU Zaijun,YANG Leilei,HU Minqiang,et al. Research on active power quality conditioner for improving power quality of microgrid[J]. Power System Technology,2012,36(7):67-73.
- [6] 蒋玮,陈武,胡仁杰. 基于超级电容器储能的微网统一电能质量调节器[J]. 电力自动化设备,2014,34(1):85-90.
JIANG Wei,CHEN Wu,HU Renjie. United power quality conditioner based on supercapacitor for microgrid[J]. Electric Power Automation Equipment,2014,34(1):85-90.
- [7] 施大发,王晓,陈燕生,等. 一种光伏并网与电能质量复合控制系

统的设计[J]. 电力系统自动化,2012,36(4):40-44.

- SHI Dafa,WANG Xiao,CHEN Yansheng,et al. Design of a photovoltaic grid and power quality compound control system[J]. Automation of Electric Power Systems,2012,36(4):40-44.
- [8] JING Kaihua,LI Weidong,YANG Guoqing,et al. A multifunctional power quality controller for microgrid[C]//2015 18th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS). Pattaya City,Thailand:[s.n.],2015:391-395.
- [9] 曾正,邵伟华,赵伟芳,等. 多功能并网逆变器与并网微电网电能质量的分摊控制[J]. 中国电机工程学报,2015,35(19):4947-4955.
ZENG Zheng,SHAO Weihua,ZHAO Weifang,et al. Coordination control of multiple multi-functional grid-tied inverters to share power quality issues for grid-connected micro-grid[J]. Proceedings of the CSEE,2015,35(19):4947-4955.
- [10] KHADKIKAR V. Enhancing electric power quality using UPQC: a comprehensive overview[J]. IEEE Transactions on Power Electronics,2012,27(5):2284-2297.
- [11] 陆晶晶,肖湘宁,张剑,等. 基于定有功电流限值控制的MMC型UPQC协调控制方法研究[J]. 电工技术学报,2015,30(3):196-204.
LU Jingjing,XIAO Xiangning,ZHANG Jian,et al. MMC-UPQC coordinated control method based on fixed active current limit value control[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2015,30(3):196-204.
- [12] 马明,陆晶晶,刘正富,等. 基于模块化多电平换流器拓扑的新型中压统一电能质量控制器[J]. 广东电力,2012,25(12):77-83,94.
MA Ming,LU Jingjing,LIU Zhengfu,et al. A new-type medium voltage unified power quality controller based on modular multi-level converter topology[J]. Guangdong Electric Power,2012,25(12):77-83,94.
- [13] 王浩,刘进军,梅桂华. 配网统一电能质量控制器直流电容的容量计算与分析[J]. 电力系统保护与控制,2014,42(9):14-19.
WANG Hao,LIU Jinjun,MEI Guihua. Calculation and analysis of DC capacitor capacitance in distribution UPQC[J]. Power System Protection and Control,2014,42(9):14-19.
- [14] 陶勇,邓焰,陈桂鹏,等. 下垂控制逆变器中并网功率控制策略[J]. 电工技术学报,2016,31(22):115-124.
TAO Yong,DENG Yan,CHEN Guipeng,et al. Power flow control strategy for droop-controlled inverters[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2016,31(22):115-124.

作者简介:



陆晶晶

陆晶晶(1989—),女,安徽凤阳人,工程师,博士,主要研究方向为直流电网控制技术、电能质量治理(E-mail:lujingjing2014@126.com);

贺之渊(1977—),男,河南南阳人,高级工程师,博士,主要研究方向为柔性直流输电、大功率电力电子试验技术研发及应用(E-mail:hezhiyuan@geiri.sgcc.com.cn)。

Active three-terminal power conditioner based on MMC for multi-energy complementation

LU Jingjing^{1,2}, HE Zhiyuan^{1,3,4}, ZHAO Chengyong², YANG Jie¹, WU Yanan¹

(1. Global Energy Interconnection Research Institute, Beijing 102200, China;

2. College of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China;

3. State Key Laboratory of Advanced Power Transmission Technology, Beijing 102200, China;

4. Beijing Key Laboratory of DC Grid Technology and Simulation, Beijing 102200, China)

Abstract: An active three-terminal power conditioner based on MMC-UPQC (Modular Multilevel Converter based Unified Power Quality Controller) is proposed for the multi-energy complementary microgrid to realize the efficient utilization of distributed energy sources, the reliable power-supply to local loads and the flexible power dispatch between it and grid. Its constitution and operating modes are analyzed and a coordinated control strategy is designed to realize the integrated control function of comprehensive microgrid power-quality management and controllable power dispatch between microgrid and grid. The feasibility and effectiveness of the proposed conditioner in implementing the integrated control function of multi-energy complementary microgrid are verified by PSCAD/EMTDC simulations.

Key words: modular multilevel converter; active three-terminal power conditioner; coordinated control; multi-energy complementation; power quality