

基于超级电容器储能的微网统一电能质量调节器

蒋 玮,陈 武,胡仁杰

(东南大学 电气工程学院,江苏 南京 210096)

摘要: 提出了一种新型的由超级电容器储能模块、光伏阵列、升降压 DC/DC 变换器、双向 DC/DC 变换器、并联逆变器和能量管理系统组成的微网统一电能质量调节器,分析了主电路的基本结构,提出了调节器在并网状态下针对不同电能质量问题控制指令的生成,以及超级电容器和逆变器的连接模块、光伏电池对超级电容器充电模块的设计。仿真结果表明,所提出的统一电能质量调节器可以充分利用光伏电池发出的多余能量,通过超级电容器的快速响应能力,对微网中的多种电能质量问题进行有效治理。

关键词: 微网; 光伏电池; 超级电容器; 储能; 统一电能质量调节器; 电能质量

中图分类号: TM 761

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2014.01.015

微网中逆变器的大量使用导致的谐波污染^[1]、风机解并列时伴随的冲击电流带来的电压跌落和闪变^[2-3]、燃料电池式的微电源可能导致偏低的功率因数^[4]、以及风速变化导致的功率波动^[5]都是不可忽视的电能质量问题。经典的统一电能质量调节器 UPQC(United Power Quality Conditioner)工作过程中自身不损耗有功能量,也不能向电网提供有功功率支撑^[6]。使用电池储能系统构建的 UPQC 比功率较低,平抑功率波动对蓄电池功率配置的要求远远大于对电量配置的要求^[7]。超级电容器储能系统具有循环寿命长、储能效率高、充放电速度快等特点,和光伏电池等微电源配合可治理微网中的多种电能质量问题,并平抑微网中的功率波动^[8-12]。

1 新型 UPQC

1.1 系统的结构

本文提出的新型 UPQC 的结构如图 1 所示,它由光伏阵列、升降压 DC/DC 变换器、超级电容器储能模块、双向 DC/DC 变换器、并联逆变器和能量管理系统 EMS(Energy Management System)组成。传统的 UPQC 使用并联有源滤波器(APF)维持直流母线电容上的电压恒定,系统内部的有功功率是平衡的,新型 UPQC 中的直流母线电容为超级电容器,其母线电压由光伏电池等微电源和并联有源滤波器共同维持,超级电容器可向系统提供额外的有功功率。在微网负荷较轻时,微电源将多余的能量存储在超级电容器中,在出现各种电能质量问题时进行治理,并可利用超级电容器的高功率密度,快速平

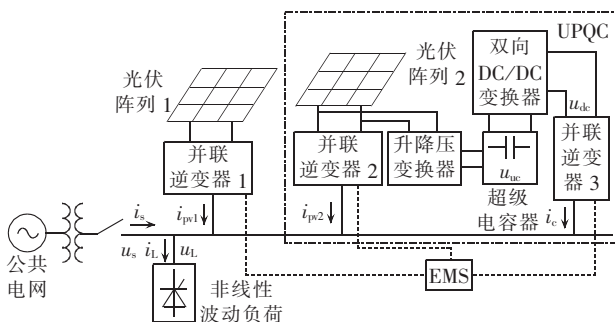


图 1 应用于微网的新型 UPQC 的结构

Fig.1 Structure of UPQC for microgrid

抑微网中的功率波动。

图 1 中, u_s 是微网和配网连接处低压侧等效电源电压, i_s 是电源电流, i_c 是补偿电流。光伏阵列 1 通过并联逆变器 1 接入微网,向微网提供能量。光伏阵列 2 既可以通过并联逆变器 2 接入微网,也可以通过升降压变换器连接到超级电容器,并对超级电容器进行充电。超级电容器通过双向 DC/DC 变换器连接到并联逆变器 3。超级电容器端电压 u_{uc} 随着能量消耗而降低,此时双向 DC/DC 变换器保证并联逆变器 3 直流母线电压 u_{dc} 稳定,并可以将多余的功率回馈到超级电容器中。并联逆变器 3 以受控电流源的形式向微网提供无功功率补偿、有功功率补偿以及谐波治理。EMS 针对微网并网运行模式中的不同状态,向各个逆变器发送控制指令。

1.2 能量管理策略

在图 1 所示的微网系统中,超级电容器的能量来自于光伏阵列,在并联补偿过程中,超级电容器既可以作为电源,通过补偿电流 i_c 提供有功功率,又可以作为负载,将微网中多余的能量储存起来。在 EMS 的控制下,系统有 3 种工作方式。

a. 当超级电容器的荷电状态 SOC(State Of Charge)较低时,进入光伏电池对超级电容器的充电工作状态。在充电过程中,系统控制器不断检测 u_{uc} ,当上升到双向 DC/DC 变换器低压侧的额定工作电压范围

收稿日期:2013-03-20;修回日期:2013-11-15

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51307024);教育部博士点基金资助项目(20120092120053);教育部留学回国人员科研启动基金资助项目

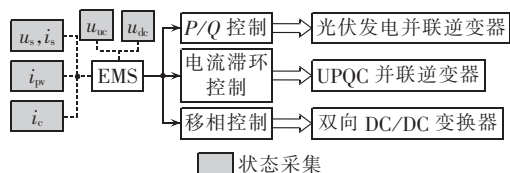
Project supported by the National Natural Science Foundation of China (51307024), Ph.D. Programs Foundation of Ministry of Education of China(20120092120053) and the Scientific Research Foundation for Returned Scholars, Ministry of Education of China

后,停止充电。在光伏电池对超级电容器充电停止后,光伏电池可通过其并联逆变器向微网提供功率。

b. 当负荷侧出现电能质量问题时,超级电容器作为电源,通过双向 DC/DC 变换器将 u_{dc} 升至并联逆变器的额定直流母线电压 u_{dk} ,通过并联逆变器向微网提供补偿电流 i_c ,对电能质量问题进行治理。当出现瞬时功率波动时, i_c 将包含有功分量,防止微网电流出现大的波动。

c. 当微网上有功功率多余,可能影响电压和频率的稳定时,并联逆变器由逆变转为整流工作方式,双向 DC/DC 变换器能量传输方向改变,此时并联逆变器向超级电容器提供能量,由超级电容器进行存储。

在上述 3 种控制策略中,EMS 采集系统运行状态,向不同的变换器提供控制指令,如图 2 所示。对于光伏并联逆变器,EMS 根据功率需求采用 P/Q 控制;对于 UPQC 并联逆变器,EMS 计算微网的无功功率补偿、有功功率补偿和谐波治理需求,计算补偿电流,使用电流滞环控制;对于连接 UPQC 并联逆变器和超级电容器的双向 DC/DC 变换器,EMS 根据功率的流向和大小计算移相角,进行移相控制。



2 UPQC 的控制

2.1 并联逆变器和超级电容器的连接

经典并联型 APF 直流侧母线电压由传统电容器建立,在 APF 开始工作之前逆变器首先工作在整流状态向电容器充电,在谐波和无功补偿过程中不消耗有功功率,直流母线电压保持稳定^[13]。但是,在使用超级电容器建立直流母线电压时,由于和传统电容器相比超级电容器额定电压较低,且随着有功功率的输出,端电压下降较快,因此无法直接将超级电容器和逆变器直流母线并联。隔离型对称半桥双向 DC/DC 变换器可控制功率在低压侧和高压侧之间双向流动,适合作为连接超级电容器和并联逆变器的中间环节。该变换器还具有器件损耗少、控制简单、易于实现软开关等特点^[14],变换器拓扑如图 3 所示。

变换器左侧为低压侧,右侧为高压侧,低压侧向高压侧传输功率 P_o 可以表示为:

$$P_o = \frac{U_1^2}{\omega L_s} \frac{\phi_1 (\pi - \phi_1)}{\pi} \quad (1)$$

其中, U_1 为低压侧输入电压, ω 为开关角频率, L_s 为升压变压器漏感, ϕ_1 为左右 2 个半桥导通角之间的

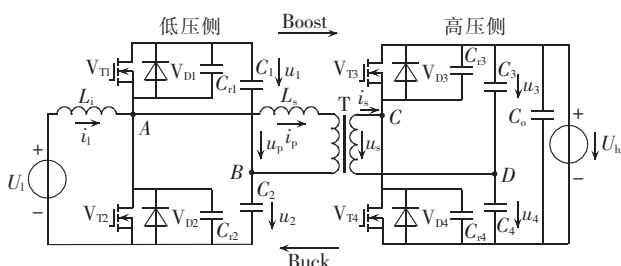


图 3 隔离型对称半桥双向 DC/DC 变换器
Fig.3 Topology of isolated symmetry half-bridge
bidirectional DC/DC converter

相位差。从式(1)可以看出,通过调节 ϕ_1 即可调节变换器功率的流向和大小^[15]。因此,使用隔离型对称半桥双向 DC/DC 变换器连接超级电容器和并联逆变器后,可以利用其高变比建立逆变器直流侧电压。同时调节 ϕ_1 ,在微网功率波动时使有功功率在超级电容器和微网之间双向交换。

2.2 逆变器控制指令的生成

在超级电容器作为直流源向微网提供补偿电流的过程中,需要同时控制双向 DC/DC 变换器和并联逆变器。由双向 DC/DC 变换器决定能量流动方向并保持逆变器直流母线电压稳定,由逆变器根据 EMS 控制命令提供补偿电流。根据以上需求,本文提出了一种同时产生并联逆变器和隔离型对称半桥双向 DC/DC 变换器控制指令的方法,将隔离型对称半桥双向 DC/DC 变换器移相控制和三相交流电路的瞬时无功理论相结合,在一套控制系统中实现无功功率补偿、有功功率补偿、谐波治理和超级电容器充电的功能,如图 4 所示。

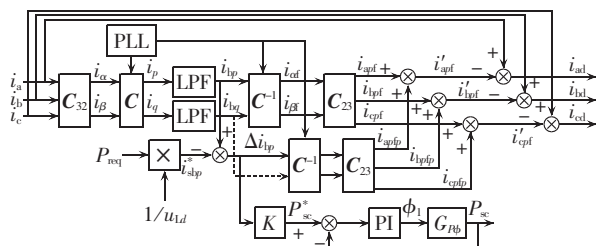


图 4 控制指令的生成
Fig.4 Generation of control instruction

图中, i_a, i_b, i_c 为并联接接入点处的负载电流,根据瞬时无功理论,使用式(2)可获得旋转坐标系下的电流有功分量 i_p 和无功分量 i_q ,经过低通滤波器(LPF)后,获得旋转坐标系下的基波有功直流分量 i_{ip} 和基波无功直流分量 i_{iq} 。

$$\begin{bmatrix} i_p(t) \\ i_q(t) \end{bmatrix} = CC_{32} \begin{bmatrix} i_a(t) \\ i_b(t) \\ i_c(t) \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times \begin{bmatrix} \sin(\omega t) & \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \\ -\cos(\omega t) & -\cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) & -\cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \quad (2)$$

如果系统需要检测无功和谐波分量,则只需将基波有功直流分量 i_{lp} 使用式(3)进行变换,图 4 中的虚线表示 i_{lp} 不参加运算,进而获得实际电流中的基波有功电流分量 i_{apf} 、 i_{lfp} 、 i_{cpf} ,使用式(4)获得包含基波无功和谐波的电流指令 i_{ad} 、 i_{bd} 、 i_{cd} 。

$$\begin{bmatrix} i_{apf} \\ i_{lfp} \\ i_{cpf} \end{bmatrix} = C_{23} C^{-1} \begin{bmatrix} i_{lp} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} i_{ad}(t) \\ i_{bd}(t) \\ i_{cd}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_a(t) \\ i_b(t) \\ i_c(t) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} i_{apf}(t) \\ i_{lfp}(t) \\ i_{cpf}(t) \end{bmatrix} \quad (4)$$

将功率波动时需要超级电容器释放/吸收的有功功率 P_{req} 与负载电压 u_L 的 d 轴分量 u_{Ld} 经计算后得到输出功率的电流参考值 i_{slp}^* 。将 i_{slp}^* 和当前负荷基波有功直流分量 i_{lp} 之间的差值 Δi_{lp} ,作为超级电容器需要提供的有功电流,经过 $C_{23}C^{-1}$ 变换,转换为 i_{apfp} 、 i_{lfpfp} 、 i_{cpfp} ,加入 i_{apf} 、 i_{lfp} 、 i_{cpf} 。当 $\Delta i_{lp} > 0$ 时,指令电流 i_{ad} 、 i_{bd} 、 i_{cd} 中除了基波无功和谐波外,还将包含 Δi_{lp} 部分代表的有功电流分量,即:

$$\begin{bmatrix} i_{ad}(t) \\ i_{bd}(t) \\ i_{cd}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_a(t) \\ i_b(t) \\ i_c(t) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} i_{apf}(t) \\ i_{lfp}(t) \\ i_{cpf}(t) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} i_{apfp}(t) \\ i_{lfpfp}(t) \\ i_{cpfp}(t) \end{bmatrix} \quad (5)$$

当 $\Delta i_{lp} > 0$ 时,微网需要由超级电容器提供有功功率;当 $\Delta i_{lp} < 0$ 时,超级电容器将吸收这一部分有功功率。由于 Δi_{lp} 代表了需要隔离型对称半桥双向 DC/DC 变换器传输的有功功率,因此,将 Δi_{lp} 经过比例调节,可以获得变换器从超级电容器传输的有功功率参考值 P_{sc}^* 、 P_{sc}^* 和实际传输的有功功率 P_{sc} 之间的差值,由 PI 控制器进行调节,可以获得隔离型对称半桥双向 DC/DC 变换器的移相角 ϕ_1 ,它决定了超级电容器和并联逆变器之间能量交换的方向和大小。

2.3 光伏电池对超级电容器的充电电路

传统的光伏-蓄电池储能系统往往使用双向 Buck/Boost 电路在光伏电池和蓄电池间交换能量^[16]。但是超级电容器没有蓄电池那样稳定的端电压,如果使用单级 DC/DC 变换器连接光伏电池和超级电容器,并控制光伏电池工作在最大功率点跟踪(MPPT)状态下,虽然可以使光伏电池输出最大功率,但无法对变换器输出电压精确控制,而超级电容器的充电效率和端电压关系很大,因此也无法保证超级电容器的充电效率。

使用由 2 个独立开关器件组成的级联变换器可以实现功率变换中不同工作模式的协调运行^[17]。基于此思路,本文提出了基于 Boost 级联 Buck 变换器(BoCBB)的光伏电池对超级电容器的充电电路,如图 5 所示。图中,EDLC 表示双电层电容器。

在充电电路中,前一级 Boost 电路使用 MPPT 控制策略,使光伏电池工作在最大功率点,后级 Buck 电路使用最大功率转移跟踪 MPTT(Maximum Power Transfer Track)充电策略,在保证超级电容器的充电电流不超过上限的前提下,最大限度地将光伏电池产生的能量充入超级电容器中。MPTT 充电共分 3 个步骤:

a. 充电初期,超级电容器电压极低,Buck 电路使用最小占空比仍不足以保证充电电流小于超级电容器最大充电电流 I_{scmax} ,此时短时接入限流电阻进行限流充电,使超级电容器端电压快速上升;

b. 限流充电结束后,直至超级电容器端电压 u_{uc} 升至 $u_{uc} I_{scmax} \geq p_{mppt}$ 之前,以略低于 I_{scmax} 的电流进行恒流充电;

c. 在达到 $u_{uc} I_{scmax} \geq p_{mppt}$ 之后,使用恒功率充电,使光伏电池在 MPPT 控制下产生的能量尽可能存储到超级电容器中去。

采用由以上 3 个步骤组成的 MPTT 充电策略后,光伏电池能够在保证超级电容器安全的情况下,有效提高充电的效率。

3 仿真结果

为了对上述控制过程进行验证,在图 1 所示的微网结构基础上,使用 MATLAB/Simulink 进行了仿真,仿真参数如下:电网线电压有效值为 380 V,负载为不控整流桥接阻性负载,逆变器输出滤波电感为 3 mH,逆变器输出滤波电容为 1 μ F,超级电容器端电压为 60 V,超级电容器容量为 20 F,超级电容器最大充电电流为 30 A,隔离型对称半桥双向 DC/DC 变换器变比为 1:5,光伏阵列额定功率为 350 W。

3.1 谐波治理和无功补偿

因为不控整流桥和变压器的存在,负荷侧的电流包含谐波分量,在没有并联补偿的情况下,因为负载电流全部由电网提供,因此电网电流也包含谐波分量,且功率因数小于 1,负载电流畸变严重,电压电流之间存在相位差。

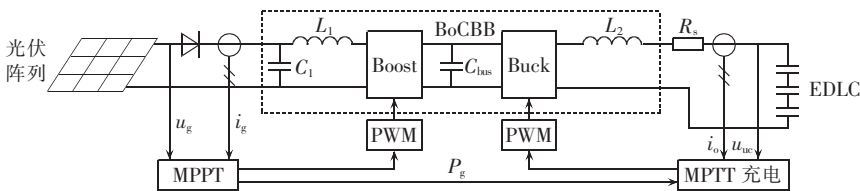


图 5 光伏电池向超级电容器充电电路

Fig.5 Charging circuit from photovoltaic cell to supercapacitors

对电流补偿过程进行了 0.1 s 的仿真,在 0.04 s 时开始谐波补偿,补偿后的电网电压和电流如图 6 所示,可以看出 0.04 s 后,由于并联补偿的作用,电网电流只包含基波分量。

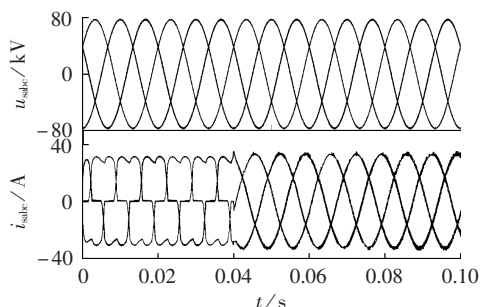


图 6 谐波补偿前后的电源三相电压、电流波形
Fig.6 Waveforms of three-phase source voltage and current before and after harmonic compensation

设置并网控制系统中的基波无功直流分量 $i_{ly}=0$,指令电流中将同时包含补偿谐波和无功功率的分量,补偿后的 a 相电压、电流如图 7 所示,0.04 s 之后功率因数为 1。

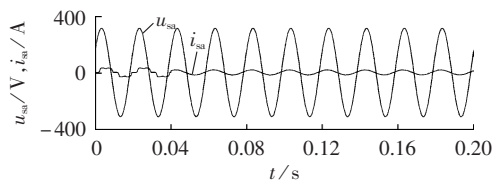


图 7 谐波和无功补偿前后的电网 a 相电压、电流波形
Fig.7 Waveforms of phase-a voltage and current before and after harmonic and reactive power compensation

3.2 有功支撑

负荷在 0.04 s 时由 $50\ \Omega$ 变为 $8.3\ \Omega$,在 0.08 s 时恢复,在只有无功和谐波补偿时,电网电压、电流波形如图 8 所示。虽然并联补偿滤除了谐波,提高了功率因数,但是因为负荷波动的原因,电网电流出现了较大的波动,这显然是需要避免的。

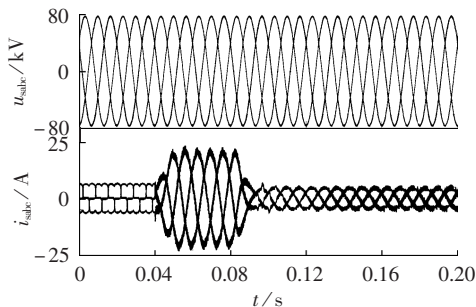


图 8 波动负荷作用下的电网电压和电流波形
Fig.8 Voltage and current waveforms of grid with fluctuating load

图 9 是检测到的功率波动信号 u_d 和 Δi_{lp} 波形。可见在 0.04 s 和 0.08 s 有需要超级电容器补偿的功率波动。0.04~0.08 s 之间,由于负荷骤增,因此 $\Delta i_{lp} > 0$,超级电容器需要提供有功功率;0.08~0.2 s

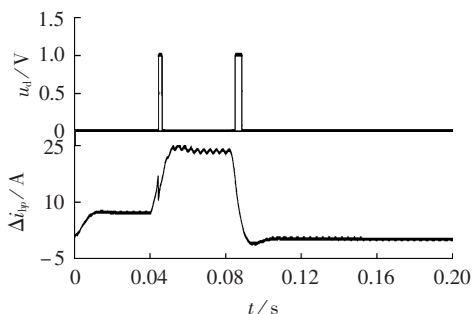


图 9 功率波动信号和 Δi_{lp} 波形
Fig.9 Fluctuating power signal and Δi_{lp} waveforms

之间,因为负荷的突然减小, Δi_{lp} 低于 0,超级电容器从电网吸收能量。

图 10 是在储能系统提供有功支撑后的电网三相电流和负载三相电流波形,可以看出,因为超级电容器储能系统提供了有功电流,虽然负荷的改变导致了负荷电流的波动,但是电网电流始终没有变化。

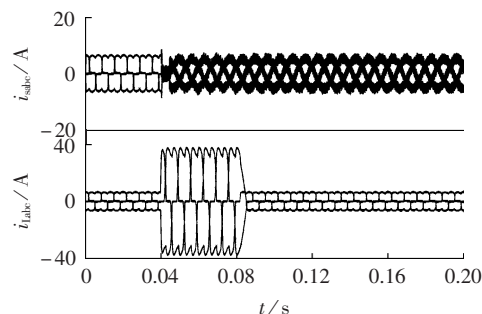


图 10 有功补偿前后的电网电流和负载电流波形
Fig.10 Waveforms of grid and load currents before and after active power compensation

3.3 超级电容器的能量释放/吸收

图 11 显示了超级电容器端电压 u_{uc} 随 Δi_{lp} 的变化,0.04~0.08 s 之间,由于向电网提供有功功率补偿,超级电容器端电压下降速度加快。0.08 s 后,负荷突然变轻, Δi_{lp} 变为负值,此时实际是电网在向负荷提供有功功率的同时,向超级电容注入能量, u_{uc} 上升。可见控制系统能够准确地根据补偿电流的大小,调节隔离型对称半桥双向 DC/DC 变换器的移相角 ϕ_1 的大小及其方向,使能量双向流动。

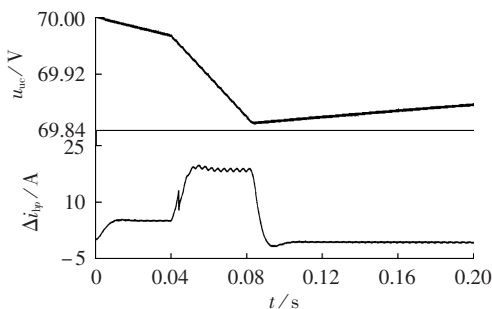


图 11 超级电容器端电压和 Δi_{lp} 波形
Fig.11 Waveforms of supercapacitor terminal voltage and Δi_{lp}

3.4 光伏电池对超级电容器的充电

在系统启动时,超级电容器电压为 0,需要使用光伏电池对超级电容器进行充电,对这一过程进行了 2 s 的仿真。超级电容器端电压 u_{uc} 、充电电流 i_c 和充电功率 P_c 波形如图 12 所示,可以看出在超级电容器端电压达到 $u_{uc}=10\text{ V}$ 之前,在限流电阻和限流充电控制的共同作用下,实际上超级电容器是以最大充电电流 $I_{scmax}=30\text{ A}$ 恒流充电;在达到 $u_{uc}=10\text{ V}$ 之后,开始恒功率充电,最终充电功率稳定在 315 W,为光伏电池输出最大功率的 90%。仿真结果表明 MPPT 充电策略可以有效保障光伏电池对超级电容器的充电效率。

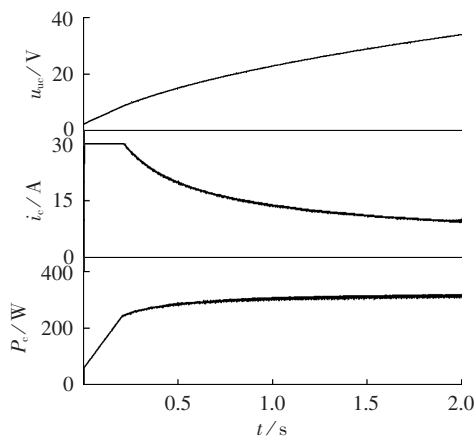


图 12 光伏电池对超级电容器的充电电压、电流、功率波形图

Fig.12 Waveforms of charging voltage,current and power from photovoltaic cell to supercapacitors

4 结论

本文分析了微网因其网络性质和运行特点所可能导致的电能质量问题,提出了在微电源现有功能之上增加补偿电能质量的功能。建立了一种新型的由光伏电池作为微电源、超级电容器作为储能设备的并联型 UPQC,分析了不同工作状态下的能量控制,对调节器在并网工作模式下的控制环节进行了设计,并给出了超级电容器和并联逆变器的连接方法,以及光伏电池对超级电容器的充电电路。仿真结果表明,这种新型的 UPQC 能够有效地完成谐波治理、无功功率补偿和有功功率补偿,确保超级电容器储能装置的安全可靠运行,并提高了光伏电池对超级电容器的充电效率。

参考文献:

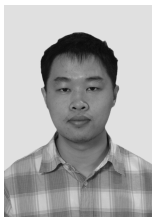
- [1] van THONG V,DRIESEN J,BELMANS R. The influence of the connection technology of dispersed energy sources on grid stability[C]//PEMD'04. Edinburgh,UK;IEEE,2004:742-745.
- [2] MORSI G,EL-HAWARY E. Effect of distributed generation on voltage flicker in distributed systems:a case study[C]//CCECE'08. Niagara Falls,Canada;IEEE,2008:65-70.

- [3] BARCHI S,GOLKAR A,HAJIZADEH A. Effect of distribution system specifications on voltage stability in presence of wind distributed generation[C]//EPDC'11. Bandar Abbas,Iran;IEEE,2011:1-6.
- [4] PAULILLO G,IMPINNISI R,CANTAO P,et al. Power quality in distributed generation system based on fuel cell technology—a case study[C]//ICHQP'04. Lake Placid,NY,USA;IEEE,2004:608-612.
- [5] 林卫星,文劲宇,艾小猛,等. 风电功率波动特性的概率分布研究[J]. 中国电机工程学报,2012,32(1):38-46.
LIN Weixing,WEN Jinyu,AI Xiaomeng,et al. Probability density function of wind power variations[J]. Proceedings of the CSEE,2012,32(1):38-46.
- [6] 童力,邹旭东,张允,等. 基于自适应滤波的单相统一电能质量控制器研究[J]. 中国电机工程学报,2011,31(24):9-18.
TONG Li,ZOU Xudong,ZHANG Yun,et al. Research of single-phase united power quality conditioner based on adaptive filter[J]. Proceedings of the CSEE,2011,31(24):9-18.
- [7] 姚勇,朱桂萍,刘秀成. 电池储能系统在改善微电网电能质量中的应用[J]. 电工技术学报,2012,27(1):85-89.
YAO Yong,ZHU Guiping,LIU Xiucheng. Improvement of power quality of micro-grids by battery energy storage system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2012,27(1):85-89.
- [8] 鲁鸿毅,何奔腾. 超级电容器在微型电网中的应用[J]. 电力系统自动化,2009,33(2):87-91.
LU Hongyi,HE Benteng. Application of the supercapacitor in a microgrid[J]. Automation of Electric Power Systems,2009,33(2):87-91.
- [9] 张国驹,唐西胜,齐智平. 平抑间歇式电源功率波动的混合储能系统[J]. 电力系统自动化,2011,35(20):24-28.
ZHANG Guojun,TANG Xisheng,QI Zhiping. Design for a novel low-voltage compensation device fit for rural power grid[J]. Automation of Electric Power Systems,2011,35(20):24-28.
- [10] 梁亮,李建林,惠东. 光伏-储能联合发电系统运行机理及控制策略[J]. 电力自动化设备,2011,31(8):20-23.
LIANG Liang,LI Jianlin,HUI Dong. Operating modes of photo-voltaic/energy-storage hybrid system and its control strategy[J]. Electric Power Automation Equipment,2011,31(8):20-23.
- [11] 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):99-108.
TANG Xisheng,DENG Wei,LI Ningning,et al. Control technologies of microgrid operation based on energy storage[J]. Electric Power Automation Equipment,2012,32(3):99-108.
- [12] 石庆均,江全元. 包含蓄电池储能的微网实时能量优化调度[J]. 电力自动化设备,2013,33(5):76-82.
SHI Qingjun,JIANG Quanyuan. Real-time optimal energy dispatch for microgrid with battery storage[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(5):76-82.
- [13] 万江,郭真红,郑继红,等. 统一电能质量调节器控制策略及仿真[J]. 电力自动化设备,2009,29(11):78-81.
WAN Jiang,GUO Zhenhong,ZHENG Jihong,et al. Control scheme of unified power quality controller and simulation[J]. Electric Power Automation Equipment,2009,29(11):78-81.
- [14] 蒋玮,胡仁杰,黄慧春. 移相控制对称半桥变换器软开关条件研究[J]. 电工技术学报,2011,26(11):8-14.
JIANG Wei,HU Renjie,HUANG Huichun. ZVS condition of symmetry half-bridge converter with phase-shifted control[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2011,26(11):8-14.

- [15] PENG Z, LI Hui, SU Guijia, et al. A new ZVS bidirectional DC-DC converter for fuel cell and battery application[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2004, 19(1): 54-65.
- [16] 侯世英, 房勇, 孙韬, 等. 混合储能系统在独立光伏发电系统功率平衡中的应用[J]. 电网技术, 2011, 35(5): 183-187.
- HOU Shiyong, FANG Yong, SUN Tao, et al. Application of hybrid energy storage system in power balance of stand-alone photovoltaic power system[J]. Power System Technology, 2011, 35(5): 183-187.
- [17] KIM R Y, LAI J S. A seamless mode transfer maximum power point tracking controller for thermoelectric generator applica-

tions[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2008, 23(5): 2310-2318.

作者简介:



蒋 玮(1982-), 男, 江苏盐城人, 讲师, 博士, 主要研究方向为电力电子技术及其在微网中的应用 (E-mail: jiangwei@ seu.edu.cn)。

United power quality conditioner based on supercapacitor for microgrid

JIANG Wei, CHEN Wu, HU Renjie

(School of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: A UPQC(United Power Quality Conditioner) is proposed for microgrid, which is composed of supercapacitor, photovoltaic modules, Boost-Buck DC/DC converter, bidirectional DC/DC converter, shunt inverter and energy management system. Its structure is analyzed and it is proposed to generate the control instruction according to different power quality problems for grid-connected UPQC. The connecting module between supercapacitor and shunt inverter and the power charging module of supercapacitor are designed. The simulative results verify that, the proposed UPQC takes full advantage of the redundant power of photovoltaic cells and the rapid response capability of supercapacitors to solve various power quality problems of microgrid.

Key words: microgrid; photovoltaic cells; supercapacitor; energy storage; united power quality conditioner; power quality

(上接第84页 continued from page 84)

Tri-state PCCM CUK PFC converter with low output-voltage ripple

ZHANG Fei, XU Jianping, SHU Lisan, DONG Zheng

(Key Laboratory of Magnetic Suspension Technology and Maglev Vehicle, Ministry of Education, School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: A kind of tri-state PCCM(Pseudo Continuous Conduction Mode) CUK PFC(Power Factor Correction) converter with low output-voltage ripple and its control strategy are proposed. By connecting a power switch in series with the CUK capacitor, three operating states of capacitor voltage are obtained within a switching cycle, resulting in low output-voltage ripple and fast dynamic load response. The operating principle of tri-state PCCM CUK PFC converter is analyzed and verified by simulation. The experimental results of a 200 W prototype show that the tri-state PCCM CUK PFC converter has high power factor, low output-voltage ripple and fast dynamic response.

Key words: power factor correction; electric converters; dynamic response; low output-voltage ripple; pseudo continuous conduction mode