

文章编号: 2095-2163(2019)03-0069-06

中图分类号: TM910.6

文献标志码: A

# 基于智能微电网的充电系统

邹磊, 李光平

(广东工业大学 信息工程学院, 广州 510006)

**摘要:** 为推动智慧城市新能源系统的建设, 本文将建立一种基于智能微电网的充电系统, 给智慧出行提供新的思路。智能微电网充电系统运行于孤岛模式, 由于不需要与大电网电气联系, 因而可以灵活地建立在城市各个角落。孤岛智能电网充电系统是否能良好运行取决于母线电压的稳定性及能量流动的平稳性。因此本文重点研究母线电压的控制和能量流动管理方法, 针对孤岛运行的交直流微电网系统, 通过控制策略, 旨在当系统外部发生变化时, 系统能够及时做出应对, 保持母线电压稳定, 也能让交流侧与直流侧之间的能量互通。本文建立了一个典型的交直流微电网模型, 并利用 Matlab 仿真验证了控制策略的有效性和可行性。

**关键词:** 智能微电网; 智慧能源; 母线电压稳定; 能量流动

## Charging system based on smart microgrid

ZOU Lei, LI Guangping

(School of Information Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

**[Abstract]** In order to promote the construction of new energy system in smart city, this paper will build a charging system based on smart micro-grid to provide new ideas for smart travel. Smart micro-grid charging system operation and islanding mode can be flexibly established in every corner of the city because it does not need to be connected with the large grid. Whether the charging system of islanded smart grid can operate well depends on the stability of bus voltage and the stability of energy flow. Therefore, this paper focuses on bus voltage control and energy flow management methods. Aiming at the isolated AC/DC microgrid system, through control strategy, the system can respond in time when the external system changes, maintain bus voltage stability, and also enable the energy exchange between AC side and DC side. In this paper, a typical AC/DC microgrid model is established, and the effectiveness and feasibility of the control strategy are verified by Matlab simulation.

**[Key words]** smart microgrid; smart energy; bus voltage stability; energy flow

## 0 引言

随着电动汽车、代步平衡车等产品的快速增长, 给人们的出行带来了极大的方便, 而且电池能源相对于燃油更加清洁, 对环境的污染起到了一定的缓解作用。但是随之而来的问题也比较明显, 例如: 大量的电动产品会使电网负荷不断增大, 对电网的运行效率有很大的冲击, 而增加配电设备容量将会涉及变电站建设、线路建设、多部门协调及复杂的施工改造等问题, 成本巨大, 推动过程缓慢, 将不利于电动汽车的推广和普及; 同时, 目前市面上大多电动产品的电池续航能力令人堪忧, 经常需要充电, 有时甚至会在路上就出现电量不足的情况。

针对上述一些问题, 本文以光储交直流微电网为研究对象, 搭建一个基于智能微电网的充电系统, 并运行于孤岛模式。

## 1 智能微电网充电系统结构

本文研究的智能微电网的充电系统结构如图 1 所示。主要由光伏装置(PV)、储能模块以及交直流负荷单元组成。

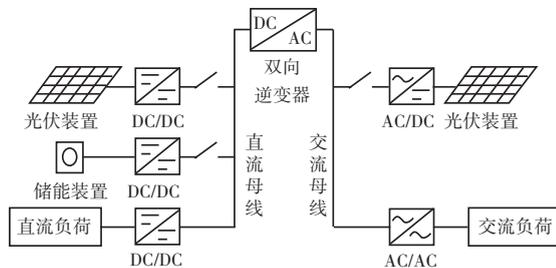


图 1 智能微电网充电系统

Fig. 1 Intelligent microgrid charging system

图 1 中, 直流侧光伏装置通过升压式 DC-DC 电路接入到直流母线中, 储能装置通过双向 DC-DC 电路接入到直流母线中, 交流侧光伏装置通过 DC-AC 逆变器

**基金项目:** 国家自然科学基金青年基金项目(61601130); 广州市产学研协同创新重大专项对外科技合作项目(201704030093)。

**作者简介:** 邹磊(1995-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 交直流微电网/母线电压控制; 李光平(1981-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向: 无线能量传输、毫米波雷达测距、通信系统物理层设计及实现等。

收稿日期: 2019-03-15

接入到交流母线中,负荷单元分为直流负荷和交流负荷。

## 2 系统各装置的控制

### 2.1 双向逆变器的控制

双向逆变器可以实现能量的双向流动,既可以把直流电源输出的直流电逆变成交流电,供给交流负荷,或者直接流入电网,又可以把电网的交流电整流为直流电,供给直流负荷,或者给储能装置充电<sup>[1-3]</sup>。双向逆变器在微电网中有着重要的作用,为微电网内部的能量流动提供了可靠依据。

主逆变器的拓扑结构如图2所示。主逆变器连接着直流子系统和交流子系统,本文规定直流子系统向交流子系统发送能量的方向为正方向, $C_q$ 为直流侧的滤波电容,交流侧采用LC滤波器。

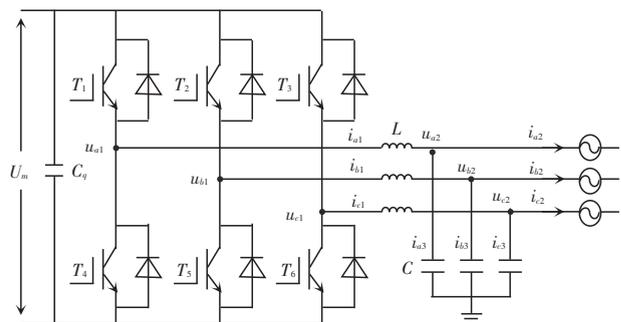


图2 主逆变器拓扑结构图

Fig. 2 Topology of main inverter

在三相静止坐标系下的交流输出可写作如下数学形式:

$$u_{a2} = U \cos(\omega t + \delta_0), \quad (1)$$

$$u_{b2} = U \cos\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi + \delta_0\right), \quad (2)$$

$$u_{c2} = U \cos\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi + \delta_0\right). \quad (3)$$

基于基尔霍夫定律下的电路关系的数学表述如下:

$$L \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{a1} \\ i_{b1} \\ i_{c1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_{a1} \\ u_{b1} \\ u_{c1} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} u_{a2} \\ u_{b2} \\ u_{c2} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$C \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} u_{a2} \\ u_{b2} \\ u_{c2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{a1} \\ i_{b1} \\ i_{c1} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} i_{a2} \\ i_{b2} \\ i_{c2} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

公式(5)经过 park 变换,可推得如下数学公式:

$$C \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} u_{d2} \\ u_{q2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \omega \\ -\omega & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{d2} \\ u_{q2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} i_{d1} \\ i_{q1} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} i_{d2} \\ i_{q2} \end{bmatrix}, \quad (6)$$

前馈解耦控制方程可表示为:

$$i_{d1} = \frac{\alpha}{e} k_p + \frac{k_i}{s} (u_{d2ref} - u_{d2}) - \omega C u_{q2} + i_{d2}, \quad (7)$$

$$i_{q1} = \frac{\alpha}{e} k_p + \frac{k_i}{s} (u_{q2ref} - u_{q2}) + \omega C u_{d2} + i_{q2}, \quad (8)$$

将式(6)~式(8)合并后可得:

$$C \frac{du_{d2}}{dt} = \frac{\alpha}{e} k_p + \frac{k_i}{s} (u_{d2ref} - u_{d2}), \quad (9)$$

$$C \frac{du_{q2}}{dt} = \frac{\alpha}{e} k_p + \frac{k_i}{s} (u_{q2ref} - u_{q2}). \quad (10)$$

对式(9)、式(10)经由拉氏变换后得到电压外环控制框图,与电流内环联立,可得电压电流双环控制及解耦控制框图分别如图3、图4所示。

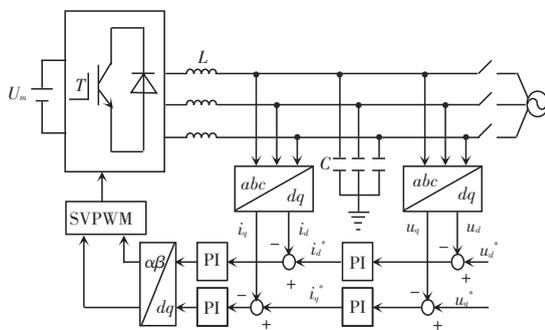


图3 Vf逆变器控制框图

Fig. 3 Control block diagram of Vf Inverters

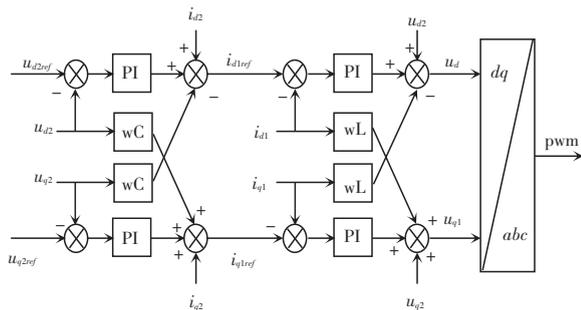


图4 Vf解耦控制框图

Fig. 4 Vf decoupling control block diagram

### 2.2 光伏装置的控制

大力发展光伏发电是中国经济社会可持续发展的客观要求,对中国调整能源结构、保障能源安全、

促进节能减排、保护生态环境和实现经济社会可持续发展具有十分重要的意义<sup>[4-6]</sup>。

光伏装置的控制仿真图如图5所示。光伏电池在一定的温度和辐照度下工作,温度和辐照度会随着实际的外界条件而改变。光伏装置经过升压电路后,输出作用于微电网系统。MPPT(maximum power point)、即最大功率点算法,外界气候环境确定时,光伏电池所发功率的最大值也是唯一的。常见的有2种基本的MPPT方法:扰动观察法和电导增量法。本文采用的是扰动观察法,即平移输出电压值,寻找到最大的功率输出点。

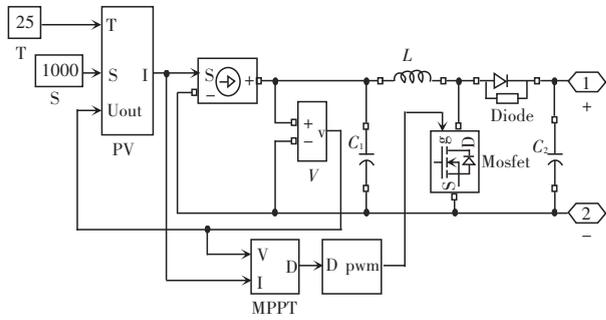


图5 光伏装置的控制仿真图

Fig. 5 Control simulation of photovoltaic devices

### 2.3 储能装置的控制

在实际应用中,太阳能、风能等新能源受时间段和天气因素的影响较大,因此,其发电系统的输出功率不易调度、波动性大<sup>[7]</sup>。这类新能源属于一种不可调控类的电力能源,致使电网接纳面临电能质量控制、配电管理及电力调度等亟待解决的关键问题。伴随风电、光电系统对配电网渗透率的日益提升,其对配电网经济运行及电能质量所产生的负面影响将越来越大,已成为时下学界的研究热点之一<sup>[8-10]</sup>。而配置储能系统则恰好可以应对这些问题。从发电侧看,储能装置的“平滑电流输出”功能可以为分布式光伏发电中的电网接入提供良好技术支持;对于用电侧,储能系统的“削峰填谷”功能为实现错峰用电提供了可能<sup>[11-12]</sup>。配置储能系统是未来风电、光电应用领域的发展趋势。

储能装置的仿真模型和孤岛模式下的控制框图详见图6、图7。为了保持直流子系统母线电压的稳定,储能装置在孤岛模式下采用电压外环控制。 $U_{dc-ref}$ 为给定的直流母线参考电压, $U_{dc}$ 为测得的直流母线实时电压值,经过作差后利用PI控制得到电流的参考值,与实际电流再次作差,此后经过PI控制,从而形成PWM驱动信号。

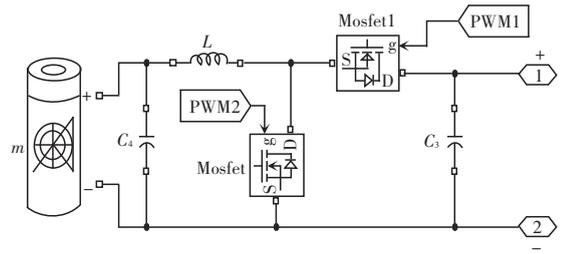


图6 储能装置仿真模型

Fig. 6 Energy storage device simulation model

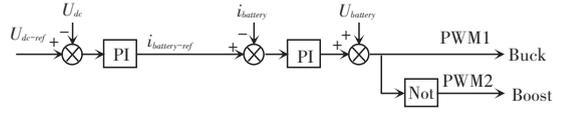


图7 储能装置孤岛模式控制框图

Fig. 7 Isolated island mode control block diagram of energy storage device

## 3 仿真与分析

### 3.1 工况分析

微源输出功率的变化以及负载的变化会影响到整个微电网的能量流动方向,根据能量流动方向的不同,列出孤岛运行时的典型工况。对此可做研究阐述如下。

- 工况一:直流侧向交流侧发送能量,蓄电池充电。
- 工况二:交流侧向直流侧发送能量,蓄电池充电。
- 工况三:直流侧与交流侧之间无能量交换,蓄电池充电。
- 工况四:直流侧向交流侧发送能量,蓄电池放电。
- 工况五:交流侧向直流侧发送能量,蓄电池放电。
- 工况六:直流侧与交流侧之间无能量交换,蓄电池放电。
- 工况七:直流侧向交流侧发送能量,蓄电池既不充电、也不放电。
- 工况八:交流侧向直流侧发送能量,蓄电池既不充电、也不放电。
- 工况九:直流侧与交流侧之间无能量交换,蓄电池既不充电、也不放电。

( $P_e$ :直流子系统与交流子系统交换能量,规定直流子系统向交流子系统发送能量为正。

$P_{dcpv}$ :直流侧光伏产生的能量,规定为正。

$P_{acpv}$ :交流侧光伏产生的能量,规定为正。

$P_{dcload}$ :直流负载消耗的能量,规定为负。

$P_{acload}$ :交侧负载消耗的能量,规定为负。

$P_{battery}$ :储能单元充放电能量,规定放电为正,充电为负)。

基于此,可推得如下数学公式:

$$P_e = P_{dcpv} + P_{batt} + P_{dcload}. \quad (11)$$

## 3.2 仿真与分析

### 3.2.1 从工况一切换到工况二

表1显示了整个交直流混合微电网在孤岛模式下,从工况一切换到工况二,各个部分的实时功率值。由于交流侧负载的减少造成了直流子系统与交流子系统之间的能量流动的方向变换,主要表现为直流子系统向交流子系统从发出10 Kw到消耗10 Kw的过程。

交直流混合微电网各个部分的实时功率值如图

表1 微电网系统实时功率

Tab. 1 Real-time power of microgrid system

时间/s	运行状态	$P_{dcpv}/\text{Kw}$	$P_{acpv}/\text{Kw}$	$P_{battery}/\text{Kw}$	$P_{dcloud}/\text{Kw}$	$P_{acload}/\text{Kw}$	$P_e/\text{Kw}$
0-1	工况一	40	20	-10	-20	-30	10
1-2	工况二	40	20	-30	-20	-10	-10

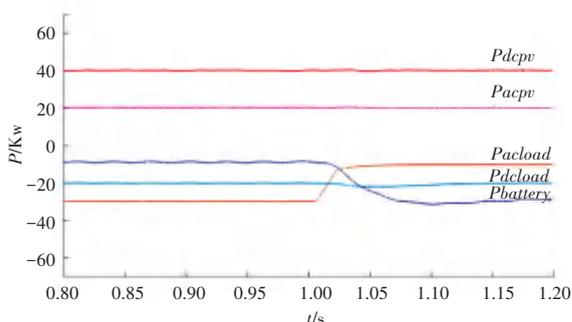


图8 微电网系统实时功率波形

Fig. 8 Real-time power waveform of microgrid system

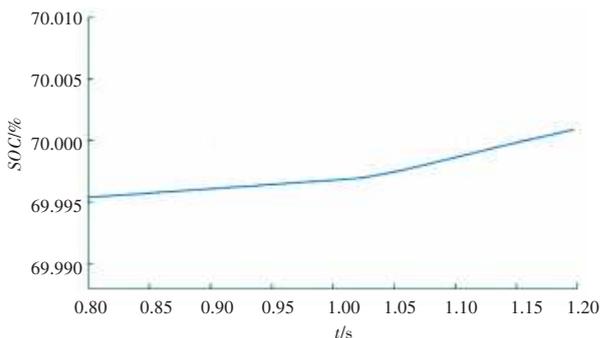


图9 储能装置容量

Fig. 9 Energy storage capacity

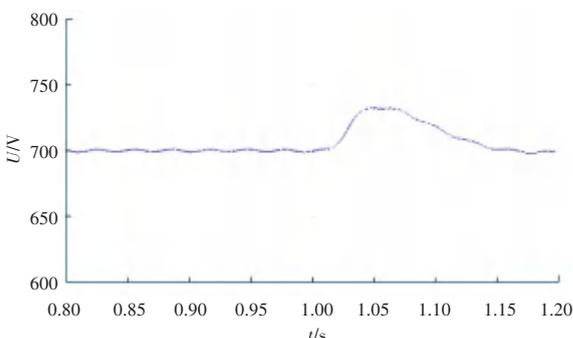


图10 直流母线电压波形

Fig. 10 DC bus voltage waveform

8所示。1 s时,交流负载突然减小,由30 Kw减小到10 Kw。图9为储能装置的容量,一直表现为充电状态,充电速率在1 s后变大。图10为直流母线电压,1 s前稳定在700 V,1 s时发生超调,然后在1.15 s时重新稳定在700 V,超调31 V,幅度约为4.5%。图11为交流母线三相电压,在1 s时,有轻微超调,然后稳定。图12为直流子系统与交流子系统之间A相电压电流,在1 s时,电流发生换向,并快速稳定下来,电流幅度不变。

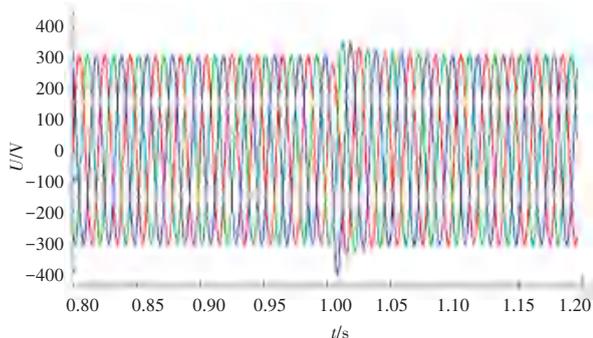


图11 交流母线电压

Fig. 11 AC bus voltage

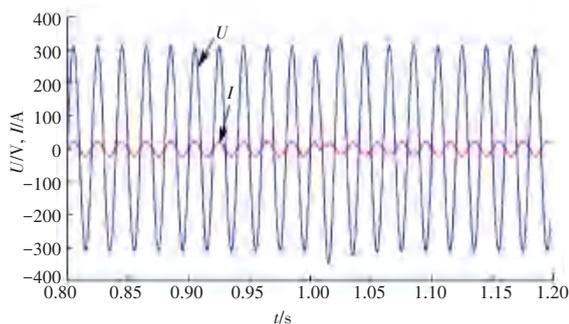


图12 直流子系统与交流子系统之间A相电压电流

Fig. 12 A-phase voltage and current between DC subsystem and AC subsystem

### 3.2.2 在孤岛模式下,从工况一切换到工况四

表2显示了整个交直流混合微电网在孤岛模式下,从工况一切换到工况四,各个部分的实时功率值。由于直流光伏的输出减少造成了储能装置的能量流动的方向变换,主要表现为储能装置从充电到放电的过程。

交直流混合微电网各个部分的实时功率值如图13所示。1 s时,直流光伏的输出突然减小,由40 Kw减小到20 Kw,储能装置的能量流动换向,从消耗能量到产生能量。图14为储能装置的容量,从充电到放电。图15为直流母线电压,1 s前稳定在700 V,1 s时发生跌

落,然后在 1.15 s 时重新稳定在 700 V,跌落 30 V,幅度约为 4.4%。图 16 为交流母线三相电压,一直处于稳

定。图 17 为直流子系统与交流子系统之间 A 相电压电流,电压电流均稳定,没有换向。

表 2 微电网系统实时功率

Tab. 2 Real-time power of microgrid system

时间/s	运行状态	$P_{dcpv}$ / Kw	$P_{acpv}$ / Kw	$P_{battery}$ / Kw	$P_{dload}$ / Kw	$P_{acload}$ / Kw	$P_e$ / Kw
0-1	工况一	40	20	-10	-20	-30	10
1-2	工况四	20	20	10	-20	-30	10

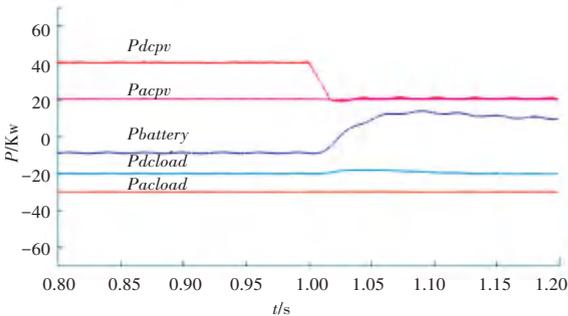


图 13 微电网系统实时功率波形

Fig. 13 Real-time power waveform of microgrid system

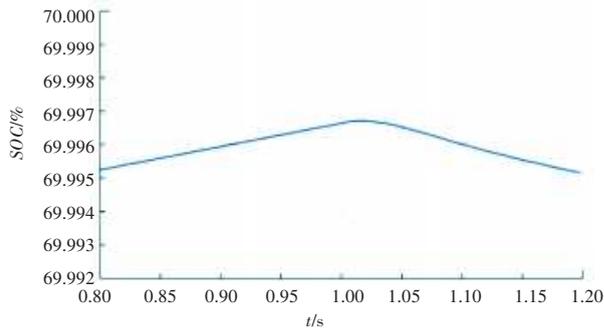


图 14 储能装置容量

Fig. 14 Energy storage capacity

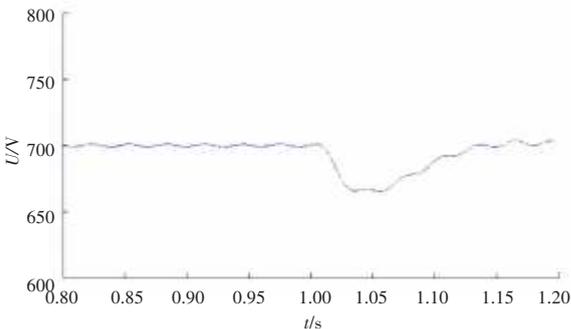


图 15 直流母线电压波形

Fig. 15 DC bus voltage waveform

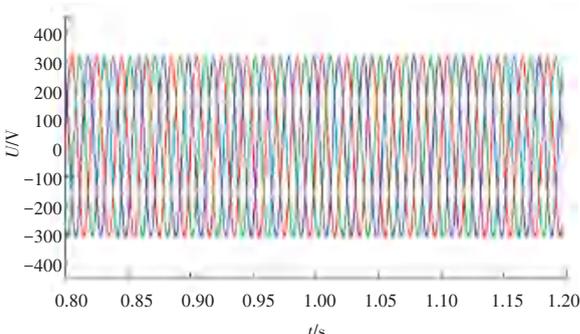


图 16 交流母线电压

Fig. 16 AC bus voltage

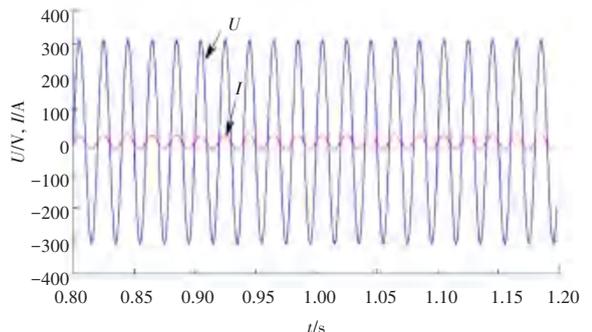


图 17 直交流子系统之间 A 相电压电流

Fig. 17 A-phase voltage and current between DC subsystem and AC subsystem

### 4 结束语

本文建立了一种基于智能微电网的充电系统,并对系统中的各个装置进行了控制策略的研究,实验结果表明,母线电压的控制效果良好,能量流动平稳。可用于城市中电动汽车的充电,真正实现节能减排,增强了电动汽车充电的灵活性。

### 参考文献

[1] 李洋,刘海涛,吴鸣,等. 微电网能量管理系统开发与应用[J]. 华东电力,2013,41(5):1071-1074.

[2] 周林,黄勇,郭珂,等. 微电网储能技术研究综述[J]. 电力系统保护与控制,2011,39(7):147-152.

[3] 王承民,孙伟卿,衣涛,等. 智能电网中储能技术应用规划及其效益评估方法综述[J]. 中国电机工程学报,2013,33(7):33-41.

[4] LIN Wei, WEI Wei, YE Guoqiang. Sampled-data output feedback control for a class of nonminimum-phase nonlinear systems[C]// 2015 54<sup>th</sup> IEEE Conference on Decision and Control (CDC). Osaka, Japan; IEEE, 2015:1427-1432.

[5] LIN Wei, WEI Wei, LIU Xinghua. Output feedback stabilization and disturbance rejection for a class of nonminimum-phase systems[C]// Proceeding of the 11<sup>th</sup> World Congress on Intelligent Control and Automation. Shenyang, China; IEEE, 2014:1652-1657.

[6] ZHU Xiaorui, MIN Jingdan, LIN Wei. Robot control via output regulation in cardiac surgery[C]//2014 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2014). Bali, Indonesia; IEEE, 2014: 648-653.

[7] 易桂平,胡仁杰. 分布式电源接入电网的电能质量问题研究综述[J]. 电网与清洁能源,2014,30(6):38-46.

[8] 沈鑫,曹敏. 分布式电源并网对于配电网的影响研究[J]. 电工技术学报,2015,30(S1):346-351.