

# 面向直流楼宇供电技术的新型多输入 Buck-Boost 变换器

易灵芝, 何 东, 王书颢, 刘 颢, 许 芬

(湘潭大学 信息工程学院, 湖南 湘潭 411105)

**摘要:** 在直流楼宇的分布式能源供电系统中, 多输入直流变换器起着将多种分布式电源进行接入、转换及协调能量管理的作用, 针对此提出一种利于多种分布式电源在直流楼宇中的联合供电的新型单电感多输入 Buck-Boost 变换器。以双输入为例分析该变换器的工作模式, 推导其输入/输出特性和功率均衡能力, 提出控制策略以实现直流楼宇中的风光混合供电。在双输入变换器的基础上, 通过拓扑推演得到了  $n$  路输入 Buck-Boost 变换器。该变换器具有电路拓扑简洁、可实现升降压、输入/输出电压同极性、各种分布式输入源可单独或同时向负载供电等优点。最后利用 MATLAB 仿真模型和实验验证了理论分析的正确性和控制策略的可行性。

**关键词:** 直流楼宇; 分布式电源; 多输入; Buck-Boost 变换器; 反极性

**中图分类号:** TM 46

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-6047.2014.05.013

## 0 引言

随着传统能源的日益枯竭和环境的恶化, 清洁能源以其经济性、清洁性、储能丰富的优点, 越来越受到人们的重视<sup>[1]</sup>。分布式发电技术是缓解能源危机和改善环境污染的有效方案, 但大量的分布式电源(如光伏发电、风力发电、燃料电池等)直接并网将会对电网调峰和系统的安全运行造成负面影响, 而且单机接入成本高, 容量小。目前主网采取的隔离方式限制了其能效发挥<sup>[2-3]</sup>。

微网将分布式电源、负荷和储能装置结合为一个独立的整体, 通过控制策略的灵活性实现并网运行和孤岛模式的平滑切换, 能高效地发挥分布式电源的价值与效益。和交流微网相比, 直流微网无需对电压的相位和频率进行跟踪, 且直流电传输不需考虑配电线路的涡流损耗和线路吸收的无功能量, 线路损耗得到降低。直流微网给用户提供的电能质量主要取决于负荷侧电力电子装置, 因此, 直流微网中电力变换器的拓扑、控制和遥控技术为现代电力电子技术的应用开辟了新的应用领域<sup>[4-5]</sup>。

目前, 楼宇是世界最大的能源用户之一。直流楼宇得到全球的高度关注, 从 2009 年在日本东京召开的第 1 届全球绿色建筑供电会议(GBPF), 到 2012 年美国硅谷的第 4 届 GBPF, 提出了 DC 380 V 的数据中心直流供电标准, 讨论了电源和用电设备的规格、电源品质质量和供电系统结构, 以及直流供电在通

信、工业、政府办公、家居中的应用和楼宇供电技术(包括可再生能源发电、高效照明、无线楼宇自动化、楼宇能源需求侧管理等)。直流楼宇让亿万人能够在自己的家中、办公室和工厂里利用分布式电源为自己的楼房、电器和汽车供电。在直流楼宇分布式电源(光伏发电、风力发电、燃料电池等)供电系统中<sup>[6]</sup>, 各种输入源均通过各自的 DC/DC 变换器进行直流变换, 系统结构较复杂, 成本较高。多输入直流变换器 MIC (Multiple-Input Converter)<sup>[7]</sup>能将多种分布式输入源和负载连接在一起, 它允许多个性、幅值和特性不同的输入源单独或同时向负载供电。MIC 控制自由度的灵活性, 可实现直流楼宇内各分布式电源的联合供电。

近年来, MIC 越来越得到国内外学者的重视, 并提出了一些电路拓扑<sup>[7-12]</sup>。文献[7]提出了一种新的双输入 Buck 变换器, 该变换器电路结构简单, 输入源既可单独也可同时向负载供电, 但是只能用在降压场合。文献[8]中的多路输入高压 Boost 变换器控制简单, 开关器件电压应力低, 但该变换器只能用在升压场合。文献[9]提出一种双输入反激 DC/DC 变换器, 通过变压器实现了电气隔离并解决了传统 Buck-Boost 电路的输入输出极性倒置情况, 输入源可以单独也可以同时向负载供电, 但只适合于小功率场合。文献[10]给出的多输入 Buck-Boost 变换器电路拓扑, 实现了电气隔离, 但由于存在电压箝位, 在任意时刻只能有一种输入源向负载供电, 在一些特定场合不能满足系统需要。

本文针对直流楼宇微网提出一种新型单电感多输入 Buck-Boost 直流变换器。多种输入源可单独或同时向负载供电, 并能解决升/降压场合中传统 Buck-

收稿日期: 2013-06-13; 修回日期: 2014-03-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50803051); 湖南省自然科学基金资助项目(11JJ8004)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(50803051) and the Natural Science Foundation of Hunan Province(11JJ8004)

Boost 电路<sup>[13]</sup>的极性倒置问题。该变换器只含有 1 个电感和 1 个电容器件,结构简单,开关管电压应力低。以新型双输入 Buck-Boost 变换器为例,应用于直流楼宇的风光混合分布式发电系统中,提出控制策略,并通过 MATLAB 仿真模型和实验验证了理论分析的正确性。

## 1 直流楼宇微网系统结构

直流楼宇微网主要由分布式电源、变换器、直流配电网、储能装置和直流负荷组成,图 1 为本文研究的基于 MIC 的直流楼宇微电网结构示意图。图中风力发电(采用开关磁阻风力发电机(SRG)<sup>[14]</sup>)、光伏电池、储能装置、后备电源(柴油发电机)通过多输入 DC/DC 变换器直接连到直流母线。最后,整个微网系统通过一台双向整流器接入主网。主网的接入可保证网内功率的平衡,提高系统供电可靠性。负载端通过电力电子变换器可以得到多种电力供应,如 DC 48 V、AC 380 V 等<sup>[15-17]</sup>。

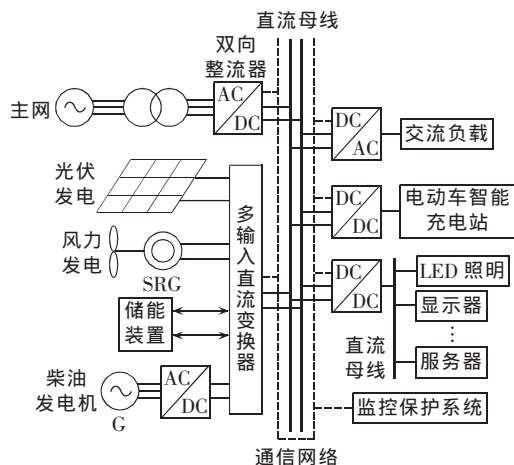


图 1 基于 MIC 的直流楼宇微电网架构

Fig.1 Configuration of DC building microgrid based on MIC

## 2 电路拓扑工作原理与控制策略

### 2.1 电路拓扑工作原理

以新型双输入 Buck-Boost 变换器(如图 2 所示)为例分析其工作原理,为了简化分析,做如下假设:所有开关管、二极管均为理想器件;电感、电容为理想元件。开关管采用相同开关频率,储能电感足够大,电感电流工作在电流连续模式。图 3 给出了开关管采用相同开关频率且同时开通控制方式<sup>[7]</sup>下的变换器主要工作波形。其中, $D_1$ 、 $D_2$  分别为开关管  $V_{T1}$ 、 $V_{T2}$  的占空比; $T_s$  为开关周期; $s_1$ 、 $s_2$ 、 $s_3$  分别为开关管  $V_{T1}$ 、 $V_{T2}$ 、 $V_{T3}$  的驱动信号; $i_{VT1}$  为流经开关管  $V_{T1}$  的电流; $i_{VT2}$  为流经开关管  $V_{T2}$  的电流; $I_{Lmax}$ 、 $I_{Lmin}$  分别为流过电感电流的最大值和最小值。变换器在一个开关周期内有以下 3 种工作模式。

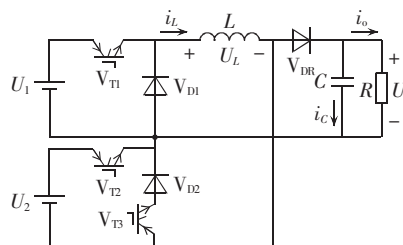


图 2 新型双输入 Buck-Boost 变换器

Fig.2 Dual-input Buck-Boost converter

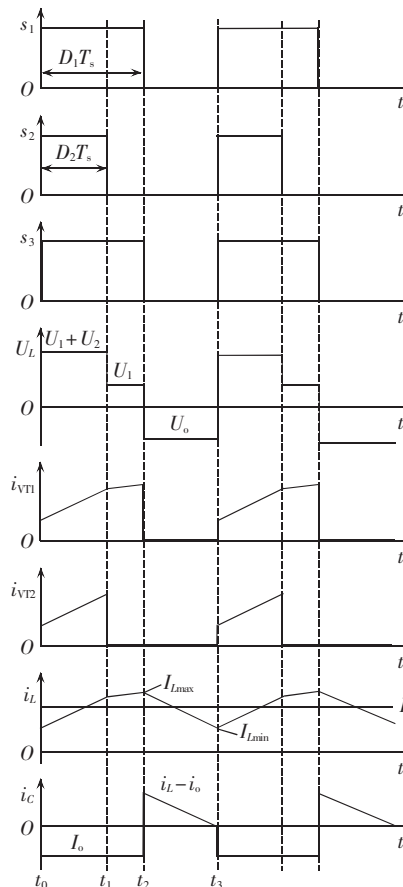


图 3 双输入 Buck-Boost 变换器主要工作波形

Fig.3 Main operating waveforms of dual-input Buck-Boost converter

**a. 工作模式 ( $t_0 \sim t_1$  时段)。**开关管  $V_{T1}$ 、 $V_{T2}$ 、 $V_{T3}$  导通,输入源  $U_1$  和输入源  $U_2$  同时给电感  $L$  充电,二极管  $V_{D1}$ 、 $V_{D2}$ 、 $V_{DR}$  关断,电感电流  $i_L$  流经输入源  $U_1$ 、 $V_{T1}$ 、 $L$ 、输入源  $U_2$ 、 $V_{T2}$ ,电感电流  $i_L$  持续线性增大。同时,电容  $C$  向负载供电,电容电压不断减小,此时  $V_{D1}$ 、 $V_{D2}$  上承受的电压应力分别为  $U_1$ 、 $U_2$ ,则在此模式有:

$$\begin{aligned} L \frac{di_L(t)}{dt} &= u_1(t) + u_2(t) \\ C \frac{du_C(t)}{dt} &= -\frac{1}{R} u_C(t) \\ i_{VT1}(t) &= i_{VT2}(t) = i_L(t) \end{aligned} \quad (1)$$

**b. 工作模式 ( $t_1 \sim t_2$  时段)。**开关管  $V_{T2}$  关断,  $V_{T1}$ 、 $V_{T3}$  导通,输入源  $U_1$  单独给电感  $L$  充电,二极管  $V_{D1}$ 、

$V_{DR}$  关断,  $V_{D2}$  导通, 电感电流  $i_L$  流经输入源  $U_1$ 、 $V_{T1}$ 、 $L$ 、 $V_{T3}$ 、 $V_{D2}$ 。电感电流  $i_L$  持续线性增大, 上升斜率比工作模式小。同时, 电容  $C$  继续向负载供电, 电容电压不断减小, 此时  $V_{D1}$  上承受的电压应力为  $U_1$ ,  $V_{T2}$  上承受的电压应力为  $U_2$ , 则在此模式有:

$$\begin{aligned} L \frac{di_L(t)}{dt} &= u_1(t) \\ C \frac{du_C(t)}{dt} &= -\frac{1}{R} u_C(t) \\ i_{VT1}(t) &= i_L(t) \end{aligned} \quad (2)$$

c. 工作模式 ( $t_2 \sim t_3$  时段)。开关管  $V_{T1}$ 、 $V_{T2}$ 、 $V_{T3}$  均关断,  $V_{D1}$ 、 $V_{DR}$  续流导通, 储存在电感  $L$  中的能量释放给负载, 同时给电容  $C$  充电。电感电流  $i_L$  线性减小, 电容  $C$  两端电压不断增大。此时  $V_{T1}$  上承受的电压应力为  $U_1$ ,  $V_{T2}$ 、 $V_{T3}$ 、 $V_{D2}$  上承受的电压应力也由于三者分压分别小于  $U_2$ , 则在此模式有:

$$\begin{aligned} L \frac{di_L(t)}{dt} &= -u_C(t) \\ C \frac{du_C(t)}{dt} &= i_L(t) - \frac{1}{R} u_C(t) \\ i_{VT1}(t) &= i_{VT2}(t) = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

由上述工作模式分析可知, 在一个开关周期  $T_s$  内, 由输入源  $U_1$  单独给电感  $L$  供电时,  $V_{T3}$ 、 $V_{D2}$  始终导通,  $U_1$ 、 $V_{T1}$ 、 $L$ 、 $V_{D1}$ 、 $V_{DR}$ 、 $C$  和  $R$  构成新型 Buck-Boost 变换器, 输入、输出电压极性相同; 而传统 Buck-Boost 变换器的输出电压  $U_o$  与输入电压  $U_i$  极性相反。由输入源  $U_1$  和  $U_2$  同时给电感  $L$  供电时, 电感  $L$  两端的电压是 2 个输入源电压的串联, 输入、输出电压极性也相同。

## 2.2 控制策略

双输入 Buck-Boost 变换器的控制框图如图 4 所示, 变换器采用第 1 路输入功率固定和第 2 路补充负载所需不足功率的主从式电压电流双闭环控制策略。将输出电压反馈信号  $U_o$  与参考电压  $U_{or}$  经电压

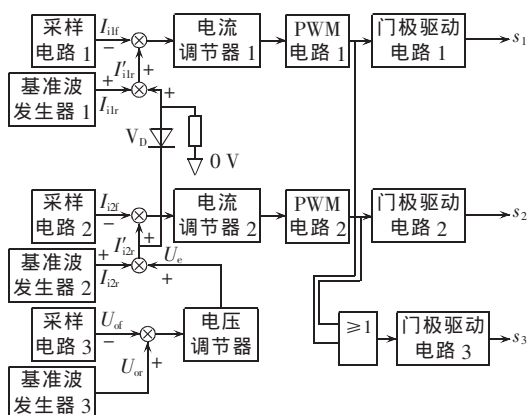


图 4 双输入 Buck-Boost 变换器控制框图

Fig.4 Block diagram of dual-input Buck-Boost converter control

PI 调节器比较放大后得到  $U_e$ ,  $U_e$  与基准电流  $I_{2r}$  叠加后作为  $I'_{2r}$ 。若  $I'_{2r}$  为正值, 输入电流反馈信号  $I_{2r}$  与  $I'_{2r}$  经电流 PI 调节器 2 比较放大后经 PWM 电路得到了  $V_{T2}$  的控制信号  $s_2$ , 此时电压调节器与电流调节器 2 组成双闭环; 由于  $V_D$  截止 ( $I'_{2r} > 0$ ), 输入电流反馈信号  $I_{1r}$  与基准电流  $I_{1r}$  经电流 PI 调节器 1 比较放大后经 PWM 电路得到了  $V_{T1}$  的控制信号  $s_1$ 。若  $I'_{2r}$  为负值, 电流调节器 2 输出为负, 则  $V_{T2}$  关断; 由于  $V_D$  导通 ( $I'_{2r} < 0$ ),  $I'_{2r}$  与基准电流  $I_{1r}$  叠加后作为  $I'_{1r}$ , 输入电流反馈信号  $I_{1r}$  与  $I'_{1r}$  经电流 PI 调节器 1 比较放大后经 PWM 电路得到了  $V_{T1}$  的控制信号  $s_1$ , 此时电压调节器与电流调节器 1 组成双闭环。同时,  $V_{T1}$  与  $V_{T2}$  的占空比经或门输出得到开关  $V_{T3}$  的控制信号  $s_3$ 。

## 3 输入/输出特性分析

### 3.1 电压、电流表达式

#### 3.1.1 连续模式基本关系式

根据双输入变换器一个开关周期内的 3 种运行模式分析变换器的工作特点及性能。假设  $D_1 > D_2$ , 由电感  $L$  的伏秒平衡原理有:

$$(U_1 + U_2)D_2T_s + U_1(D_1 - D_2)T_s = U_o(1 - D_1)T_s \quad (4)$$

输出电压为:

$$U_o = \frac{U_1D_1 + U_2D_2}{1 - D_1} \quad (5)$$

同理, 对拓扑的电容  $C$  应用安秒平衡原理可得:

$$I_oD_1T_s = (I_L - I_o)(1 - D_1)T_s \quad (6)$$

$$I_L = \frac{1}{1 - D_1} I_o \quad (7)$$

其中,  $I_o = U_o/R$  为输出电流的平均值, 则电感平均电流为:

$$I_L = \frac{U_1D_1 + U_2D_2}{R(1 - D_1)^2} \quad (8)$$

各输入源电流的平均值  $I_{s1} = D_1I_L$ ,  $I_{s2} = D_2I_L$ 。

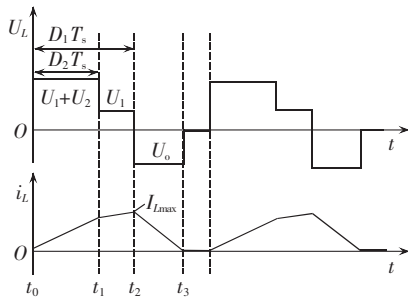
以上分析可知, 变换器在电路连续工作模式下, 输出电压大小只与 2 个输入源电压大小及开关管  $V_{T1}$ 、 $V_{T2}$  的占空比有关, 与负载无关, 且输入、输出电压极性相同。

#### 3.1.2 断续模式基本关系式

在断续模式下, 开关  $V_{T1}$ 、 $V_{T2}$  同时导通期间, 输入源电压  $U_1 + U_2$  加在电感  $L$  两端, 电感电流从零开始线性增加, 在  $t_1$  时刻  $V_{T2}$  关断,  $V_{T1}$  继续导通, 电感电流继续线性增加, 到  $t_2$  时刻增加到最大值  $I_{Lmax}$ ; 开关  $V_{T1}$  关断后, 电感释放能量, 在下一个开通周期之前, 电感电流在  $t_3$  时刻减小到零。断续模式时, 在开关  $V_{T1}$ 、 $V_{T2}$  关断期间, 二极管  $V_{DR}$  仅在  $t_2 \sim t_3$  期间导通, 电感电压  $U_L$  和电流  $i_L$  波形如图 5 所示。

假设输入功率等于输出功率, 可得:

$$U_1I_{s1} + U_2I_{s2} = \frac{U_o^2}{R} \quad (9)$$

图5 断续模式时电感  $L$  上的电压和电流波形Fig.5 Voltage and current waveforms of  $L$  in DCM

电感平均电流为:

$$I_L \approx \frac{I_{Lmax}}{2} = \frac{(U_1 D_1 + U_2 D_2) T_s}{2L} \quad (10)$$

各输入源平均电流  $I_{s1}$ 、 $I_{s2}$  与电感平均电流  $I_L$  有关,即:

$$I_{s1} = D_1 I_L, \quad I_{s2} = D_2 I_L \quad (11)$$

由式(9)—(11)可得:

$$U_o = \sqrt{\frac{RT_s}{2L}} (U_1 D_1 + U_2 D_2) \quad (12)$$

则临界电感值  $L_c$  为:

$$L_c = \frac{RT_s}{2U_o^2} (U_1 D_1 + U_2 D_2)^2 = \frac{RT_s}{2} (1 - D_1)^2 \quad (13)$$

### 3.2 功率均衡分析

在引言部分提到,开发双输入变换器的基本动机是使它们能够由2个输入源单独或同时向负载供电。双输入变换器能够改变来自每个源的功率,但不改变提供给负载的总功率,同时保持输出电压恒定。本节通过分析新型变换器的输入和输出关系来探讨变换器的功率均衡能力。由式(5)可得双输入变换器的输出电压:

$$U_o = \frac{U_1 D_1 + U_2 D_2}{1 - D_1} \quad (14)$$

各个输入源的平均功率为:

$$P_1 = U_1 I_{s1}, \quad P_2 = U_2 I_{s2} \quad (15)$$

可得每个输入源平均功率为:

$$P_1 = \frac{1}{R} \frac{U_1^2 D_1^2 + U_1 U_2 D_1 D_2}{(1 - D_1)^2} \quad (16)$$

$$P_2 = \frac{1}{R} \frac{U_2^2 D_2^2 + U_1 U_2 D_1 D_2}{(1 - D_1)^2} \quad (17)$$

式(16)、(17)表明,负载  $R$  不变时各个输入源的平均功率取决于输入源电压  $U_1$ 、 $U_2$ 、 $D_1$ 、 $D_2$ ,所以供给负载的总功率为:

$$P_\Sigma = P_1 + P_2 = \frac{1}{R} \frac{U_1^2 D_1^2 + 2U_1 U_2 D_1 D_2 + U_2^2 D_2^2}{(1 - D_1)^2} = \frac{1}{R} \left( \frac{U_1 D_1 + U_2 D_2}{1 - D_1} \right)^2 \quad (18)$$

式(18)括号里的项等于输出电压  $U_o$ ,有:

$$P_\Sigma = \frac{1}{R} U_o^2 \quad (19)$$

以上分析可知,在选定占空比时输出电压保持恒定、负载不变的情况下,总的输出功率也保持恒定,即变换器能够保持恒压恒功率输出。

## 4 拓扑推演

在双输入 Buck-Boost 变换器的基础上,推演得到图6所示的新型  $n$  路多输入 Buck-Boost 变换器。其中,  $V_{T1}$ 、 $V_{T2}$ 、 $\dots$ 、 $V_{Tn+1}$  为功率开关管;  $U_1$ 、 $U_2$ 、 $\dots$ 、 $U_n$  分别为变换器的多个输入源;  $V_{D1}$ 、 $V_{D2}$ 、 $\dots$ 、 $V_{Dn}$  为续流二极管;  $V_{DR}$  为输出整流二极管;  $L$  和  $C$  分别为电感和电容;  $R$  为负载。假设:电感电流  $i_L$  连续;开关  $V_{T1}$ 、 $V_{T2}$ 、 $\dots$ 、 $V_{Tn+1}$  采用相同频率且同时开通控制方式。下面对其变换器工作性能进行分析。

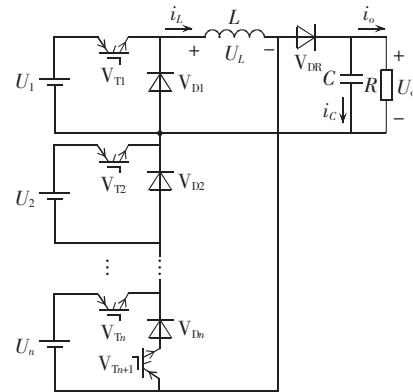


图6 新型多输入 Buck-Boost 变换器

Fig.6 Multi-input Buck-Boost converter

设各开关管  $V_{Ti}$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) 对应的导通占空比为  $D_i$ , 在一个开关周期内应用电感  $L$  的伏秒平衡原理有:

$$\sum_{i=1}^n \left\{ U_i \min(D_i) T_s + \dots + U_i [\max(D_i) - \max(D_h)] T_s \right\} = U_o [1 - \max(D_i)] T_s \quad (20)$$

可推出:

$$U_o = \frac{\sum_{i=1}^n U_i D_i}{1 - \max(D_i)} \quad (21)$$

其中,  $i, h=1, 2, \dots, n$ 。

同理,对电容  $C$  应用安秒平衡原理可得:

$$I_o \max(D_i) T_s = (I_L - I_o) [1 - \max(D_i)] T_s \quad (22)$$

可得电感平均电流为:

$$I_L = \frac{1}{1 - \max(D_i)} I_o = \frac{\sum_{i=1}^n U_i D_i}{R [1 - \max(D_i)]^2} \quad (23)$$

各输入源平均电流  $I_{si} = D_i I_L$ 。则各输入源供给负载的总功率为:

$$P_\Sigma = P_1 + P_2 + \dots + P_n = U_1 I_{s1} + U_2 I_{s2} + \dots + U_n I_{sn} \quad (24)$$

由式(23)、(24)得到:



$$P_{\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^n (U_i D_i)^2}{R [1 - \max_i (D_i)]^2} = \frac{U_o^2}{R} \quad (25)$$

由以上分析可知,有  $n$  路输入源时,输出电压只与各输入源电压和各开关占空比有关,负载不变时,变换器也能够保持输出功率恒定。

## 5 仿真与实验研究

为验证本文提出的新型双输入 Buck-Boost 变换器的工作原理和控制策略的正确性,利用 MATLAB 软件搭建风光混合供电系统进行了仿真研究。

a. 以开关磁阻风力发电机<sup>[18]</sup>为对象建立仿真模型,仿真参数为:额定功率  $P_o = 750$  W,额定转速为 1 500 r/min,四相 8/6 级,绕组内阻  $r = 0.15$   $\Omega$ ,转矩惯量  $J = 0.0016$  kg·m<sup>2</sup>,摩擦系数  $f = 0.0183$ 。

b. 光伏电池模型仿真参数以 4 块珠海兴业太阳能生产的光伏电池(型号 SYE270P-72)串联组成的光伏阵列作为参考,单块电池在标准状态(1000 W/m<sup>2</sup>, 25℃)下参数为:最大功率  $P_m = 270$  W,开路电压  $U_{oc} = 44.5$  V,短路电流  $I_{sc} = 8.25$  A,最大功率点电压  $U_m = 35$  V,最大功率点电流  $I_m = 7.71$  A。

c. 双输入 Buck-Boost 变换器的参数为:额定功率  $P_o = 1.5$  kW,电感  $L = 63.5$  mH,输出滤波电容  $C = 680$   $\mu$ F,输出电压  $U_o = 220$  V(此电压等级兼容目前大多家电设备),仿真模型如图 7 所示。

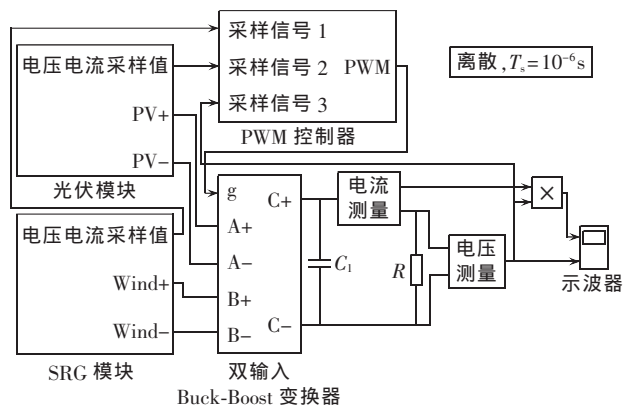


图 7 风光混合系统仿真模型

Fig.7 Simulation model of wind/photovoltaic hybrid system

图 8(a)、(b)给出了满载时风光联合供电输出电压、功率的仿真波形。可看出输出电压保持恒定且电压波动在 10% 以内;负载不变时,输出功率恒定。图 8(d)~(g)给出了轻载时 SRG 和光伏单独供电输出电压、功率的仿真波形。可看出 SRG 和光伏分别单独供电时,此时分别调节  $V_{T1}$ 、 $V_{T3}$  和  $V_{T2}$  占空比使得输出电压保持恒定且电压波动均在 10% 以内;负载不变时,输出功率恒定。分布式电源在联合或单独供电的情况下,仿真实验与理论分析结果一致。

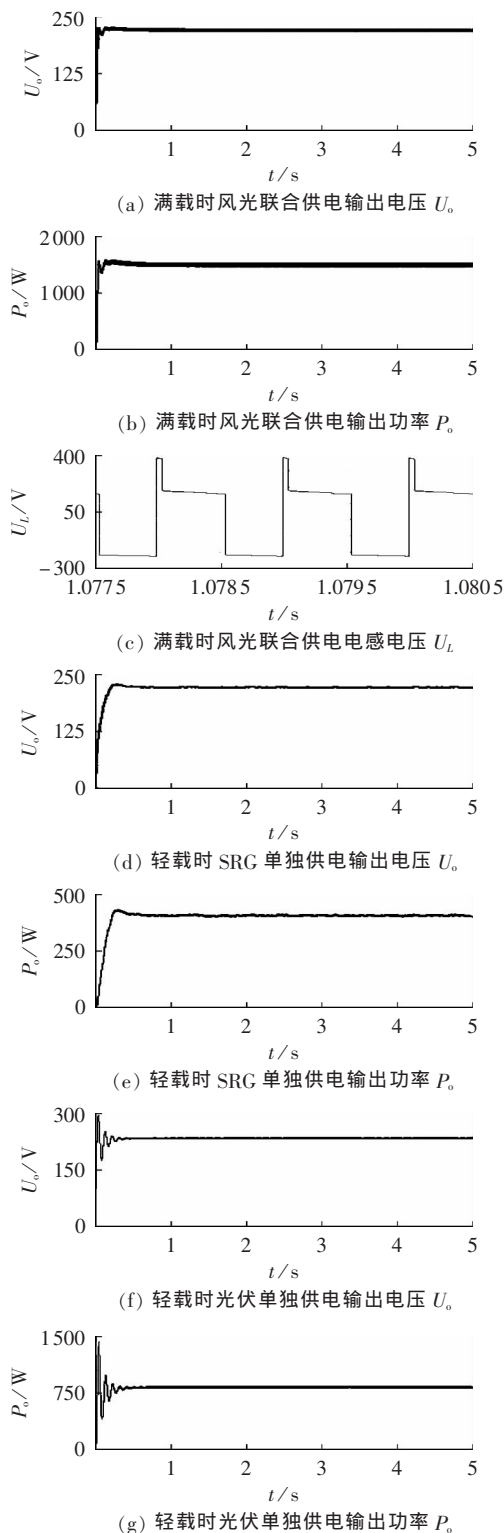


图 8 风光混合系统仿真结果

Fig.8 Simulative results of wind/photovoltaic hybrid system

为了进一步验证理论分析的正确性,实验室研制了一台 1.5 kW 的原理样机,主电路中开关管  $V_{T1}$ 、 $V_{T2}$ 、 $V_{T3}$  均选用 IXTH30N50,二极管  $V_{D1}$ 、 $V_{D2}$ 、 $V_{DR}$  选用 MUR460,输入电压  $U_1 = 150 \sim 240$  V,  $U_2 = 180 \sim 300$  V,开关频率  $f_s = 50$  kHz,其他实验参数与仿真参数一致。

图 9 为变换器工作实验波形。图 9(a)为输入源

$U_1=200\text{ V}$  单独向负载供电时开关管  $V_{T1}$ 、 $V_{T2}$ 、 $V_{T3}$  的驱动电压;图 9(b)为电感电压  $U_L$  和电感电流  $i_L$ ,此时输入源  $U_2$  退出工作,由  $U_1$  单独向负载供电,且使得输出电压稳定在 DC 220 V;图 9(c)为输入源  $U_2=180\text{ V}$  单独向负载供电时开关管  $V_{T1}$ 、 $V_{T2}$ 、 $V_{T3}$  的驱动电压;图 9(d)为电感电压  $U_L$  和电感电流  $i_L$ ,此时输入源  $U_1$  退出工作,由  $U_2$  单独向负载供电,输出电压稳定在 DC 220 V;图 9(e)为 2 个输入源  $U_1=200\text{ V}$  和  $U_2=180\text{ V}$  同时向负载供电时开关管  $V_{T1}$ 、 $V_{T2}$ 、 $V_{T3}$  的驱动电压;图 9(f)为电感电压  $U_L$  和电感电流  $i_L$ ,此时输入源  $U_1$  和  $U_2$  同时向负载供电,输出电压保

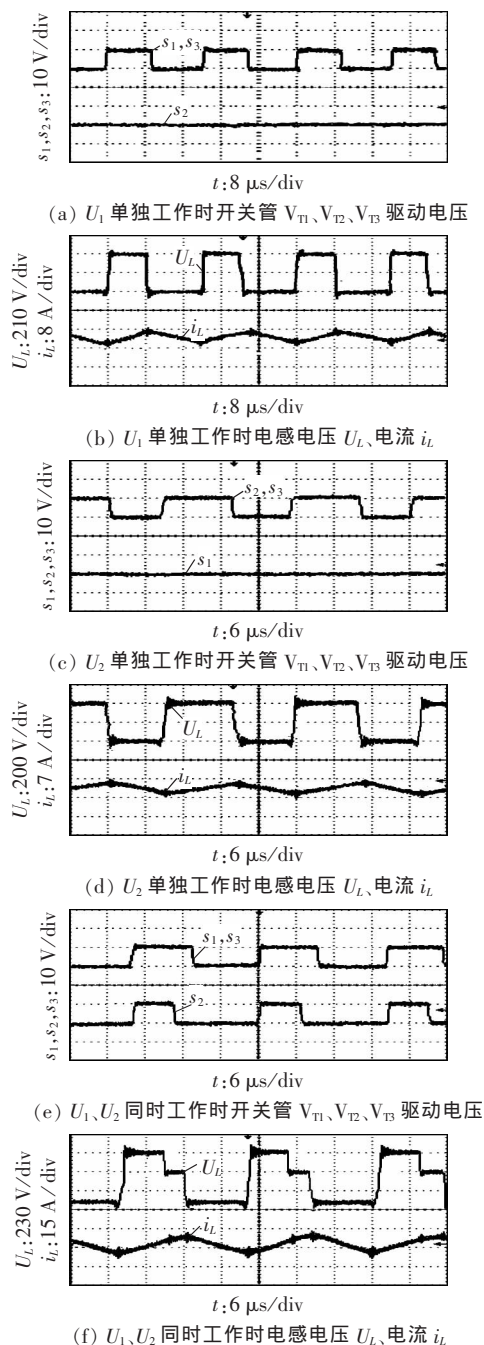


图9 变换器工作实验波形

Fig.9 Experimental waveforms of converter

持恒定。实验波形与理论分析和仿真结果一致,验证了理论分析的正确性。

## 6 结论

新型多输入 Buck-Boost 变换器具有电路简单、可同时升/降压、开关器件电压应力低、输入输出同极性、输入源可单独或同时向负载供电等优点。本文分析了双输入变换器的工作原理及其特性,提出能量控制策略,并通过 MATLAB 仿真模型和实验验证了电路拓扑理论分析的正确性和控制策略的可行性。随着输入源的增加,多输入 Buck-Boost 变换器的控制自由度变得更加灵活,在直流楼宇中为光伏发电、风力发电和燃料电池等多种分布式能源的综合利用奠定了基础。同时,直流楼宇的高效、高可靠电力电子变换器技术将是下一步的研究方向。

## 参考文献:

- [1] KIMIYOSHI K, MASSUO H, SEKINE Y. Novel solar cell power supply system using the multiple-input DC-DC converter[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2006, 53(1): 281-286.
- [2] 薛贵挺, 张焰, 祝达康. 孤立直流微电网运行控制策略[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(3): 112-117.
- [3] XUE Guiting, ZHANG Yan, ZHU Dakang. Operation control strategy of stand-alone DC microgrid[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(3): 112-117.
- [4] HASSAN N, ROBERT H. Distributed generation interface to the CERTS micro-grid[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2009, 24(3): 1598-1608.
- [5] KIM Jong, JEON Jin, KIM Seul. Cooperation control strategy of energy storage system and micro-sources for stabilizing the micro-grid during islanded operation[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2010, 24(12): 3037-3048.
- [6] 别朝红, 李更丰. 含微网的新型配电系统可靠性评估综述[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(1): 1-6.
- [7] BIE Zhaohong, LI Gengfeng. Review on reliability evaluation of new distribution system with micro-grid[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(1): 1-6.
- [8] 吴卫民, 何远彬, 耿攀. 直流微网研究中的关键技术[J]. 电工技术学报, 2012, 27(1): 98-106.
- [9] WU Weimin, HE Yuanbin, GENG Pan. Key technologies for DC micro-grids[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(1): 98-106.
- [10] 李艳, 阮新波, 杨东升. 一种新的双输入直流变换器[J]. 电工技术学报, 2008, 23(6): 77-82.
- [11] LI Yan, RUAN Xinbo, YANG Dongsheng. A new double input DC-DC converter[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2008, 23(6): 77-82.
- [12] 罗全明, 郝玢鑫, 周维维. 一种多路输入高升压 Boost 变换器[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(3): 9-14.
- [13] LUO Quanming, ZHU Binxin, ZHOU Luwei. High step-up Boost converter with multiple-input[J]. Proceedings of the CSEE, 2012, 32(3): 9-14.
- [14] 王勤, 张杰, 阮新波. 一种新型双输入反激 DC/DC 变换器[J]. 电

- 工技术学报,2011,26(2):115-122.
- WANG Qin,ZHANG Jie,RUAN Xinbo. A new double-input fly-back DC/DC converter[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2011,26(2):115-122.
- [10] NICHOLAS D B,PATRICK L C. Power budgeting of a multiple-input Buck-Boost converter[J]. IEEE Transactions on Power Electronics,2005,20(6):1303-1309.
- [11] LIU Y C,CHEN Y M. A systematic approach to synthesizing multi-input DC-DC converters[J]. IEEE Transactions on Power Electronics,2009,24(1):116-127.
- [12] 陆治国,刘捷丰,郑路遥. 新型双输入 Boost 变换器[J]. 电力自动化设备,2010,30(9):42-45.
- LU Zhiguo,LIU Jiefeng,ZHENG Luyao. Double-input Boost converter[J]. Electric Power Automation Equipment,2010,30(9):42-45.
- [13] 徐德鸿. 电力电子系统建模及控制[M]. 北京:机械工业出版社,2011:50-59.
- [14] 钟坤炎,易灵芝,彭寒梅. 开关磁阻风力发电机非线性模型仿真研究[J]. 电网技术,2010,34(1):174-178.
- ZHONG Kunyan,YI Lingzhi,PENG Hanmei. Simulation research on nonlinear model of switched reluctance wind power generator[J]. Power System Technology,2010,34(1):174-178.
- [15] 谢少军,肖华锋,罗运虎. 直流楼宇技术初议[J]. 电工技术学报,2012,27(1):107-113.
- XIE Shaojun,XIAO Huafeng,LUO Yunhu. On DC-building technology[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2012,27(1):107-113.
- [16] 钱霞,袁建华,高厚磊. 直流微电网光伏发电最大功率点追踪方法[J]. 电力自动化设备,2012,32(6):90-93.
- QIAN Xia,YUAN Jianhua,GAO Houlei. MPPT of photovoltaic generation for DC microgrid[J]. Electric Power Automation Equipment,2012,32(6):90-93.
- [17] 袁义生,龚昌为. 一种谐振型推挽式直流变换器[J]. 电力自动化设备,2012,32(10):83-87.
- YUAN Yisheng,GONG Changwei. Resonant push-pull DC-DC converter[J]. Electric Power Automation Equipment,2012,32(10):83-87.
- [18] 彭寒梅,易灵芝,徐天昊. 基于 Buck 变换器的开关磁阻发电机新型励磁模式[J]. 太阳能学报,2012,33(3):432-438.
- PENG Hanmei,YI Lingzhi,XU Tianhao. The novel excitation strategy for switched reluctance generators Based on Buck converter[J]. Acta Energiæ Solaris Sinica,2012,33(3):432-438.

#### 作者简介:



易灵芝

易灵芝(1966-),女,湖南长沙人,教授,博士,主要从事分布式发电技术、电力电子装置、特种电机控制等方面的研究(E-mail: ylwzyh@xtu.edu.cn);

何东(1986-),男,湖南常德人,硕士研究生,主要从事分布式发电与电力电子装置等方面的研究(E-mail: hd861116@163.com);

王书颢(1987-),男,湖南长沙人,硕士研究生,主要从事开关磁阻风力发电技术等方面的研究。

## Multi-input Buck-Boost converter for DC building power supply

YI Lingzhi, HE Dong, WANG Shuhao, LIU Jie, XU Fen

(College of Information Engineering, Xiangtan University, Xiangtan 411105, China)

**Abstract:** In the power supply system of distributed sources for DC building, the multi-input DC/DC converter is used for the input, conversion and coordination of multiple distributed power sources, for which, a multi-input single-inductor Buck-Boost converter is proposed. With a dual-input Buck-Boost converter as an example, its operating modes are analyzed, its input/output characteristics and power sharing capability are deduced, and a control strategy is proposed to realize the wind-photovoltaic hybrid power supply of DC buildings, based on which, the  $n$ -input Buck-Boost converter is topologically deduced. It has many advantages: simple circuit topology, both Boost and Buck functions, same polarity of input and output voltages, power supplied by either single or multiple distributed sources, etc. The correctness of theoretical analysis and the feasibility of the proposed control strategy are verified by MATLAB simulation and experiment.

**Key words:** DC building; distributed power generation; multiple inputs; Buck-Boost converter; reverse polarity