

可再生能源系统电磁兼容关键技术研究

赵 阳, 董颖华, 陆婉泉, 姜宁秋, 颜 伟

(南京师范大学 电气与自动化工程学院, 江苏 南京 210042)

[摘要] 在基于 Z 源功率变换器的可再生能源并网发电系统拓扑结构分析的基础上, 针对可再生能源系统的传导电磁干扰问题提出一种新的测量方法. 利用该方法可以较为精确的测量可再生能源系统中的传导电磁干扰噪声, 并设计相应的滤波器对于传导电磁干扰噪声进行抑制. 并且, 根据 Z 源功率变换器的特点, 提出在直流侧加入电感或电容以稳定由于直流侧电能不稳定所带来的电磁干扰噪声问题. 实验结果表明该方法较为有效.

[关键词] 可再生能源, Z 源功率变换器, 电磁兼容, 滤波器设计

[中图分类号] TM 461 [文献标识码] A [文章编号] 1672-1292(2010)03-0001-06

Technology of EMC Research in Renewable Energy Systems

Zhao Yang Dong Yinghua Lu Xiaquan Jiang Ningqiu Yan Wei

(School of Electrical and Automation Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

Abstract In this paper, a new method is proposed to test the conducted electromagnetic interference (EMI) noise of renewable energy systems based on analysis the internal structure and measuring principle of Z-source inverter. A more accurate measurement of conducted EMI noise in new energy system can be provided by this method in order to design the appropriate filter for conducted EMI noise suppression. In addition, by adding capacitor and inductance in DC side can reduce the EMI noise as well. The result of experimental shows the method is effective.

Key words renewable energy, z-source inverter, EMC, filter design

随着全球变暖和能源危机问题的日益严重以及国家发展低碳经济政策的不断出台, 基于风能和太阳能等可再生能源为主的发电技术亦愈加受到重视. 根据不久前国家发改委公布的《可再生能源中长期发展规划》到 2020 年可再生能源在我国能源结构中的比例争取达到 16%, 即相当于节省 3 亿吨标准煤发电, 其中, 风电 3 000 万 kW, 太阳能发电 180 万 kW. 尽管目标宏大, 然而目前我国现状却是可再生能源并网发电总量仅占 1% 不到, 究其原因, 影响和制约可再生能源并网发电的因素很多, 包括行业管理、行政分配以及资源布局等各个方面, 但也有可再生能源并网发电技术尚未完全成熟的因素, 譬如并网发电时电能转换系统中存在的电磁兼容问题就是其中之一, 它可以严重影响电能质量. 因此在发改委印发的《可再生能源产业发展指导目录》中就已明确指出, “可再生能源发电的电磁兼容技术仍处于研发阶段”, 它表明开展与可再生能源发电相关的电磁兼容技术研究意义重大.

可再生能源发电主要指利用风能和太阳能等无污染一次能源进行发电^[1-3]. 目前, 由于风力的不确定性, 风力发电机通常输出为电压、频率不断变化的交流电, 因此需要通过整流器转换成直流电, 再经过直流稳压环节并通过逆变器和变压器将稳定的交流电并入电网; 另一方面, 在太阳能发电系统中, 太阳能通过光电转换阵列直接转化为直流电, 然后也通过逆变器和变压器将转换后的交流电并入电网. 由此可见, 在基于上述的电能转换系统中, 换流过程将产生上升沿和下降沿均较陡的脉冲能量, 同时还由于大量使用电力电子开关器件, 其快速动作带来的高 du/dt 和 di/dt 变化量可以通过电路中存在的杂散电感和杂散电容对外传播, 因此使得这些高频信号能量得以在电能转换系统中以传导耦合方式相互干扰, 从而在功率回路中产生大量的差模和共模传导干扰噪声, 一般规定传导干扰噪声频率在 10 KHz~ 30 MHz. 这些干扰噪声

收稿日期: 2010-06-07
基金项目: 江苏省自然科学基金 (BK2008429)、苏州市国际合作项目 (SH201017).
通讯联系人: 赵 阳, 教授, 博士生导师, 研究方向: 电磁兼容. E-mail: zhaoyang2@njnu.edu.cn

可以通过电力线进入电网系统从而产生较严重的电磁干扰问题,并直接影响并网电能的质量及推广。

有鉴于此,本文对基于 Z 源功率逆变网络^[4-6]的可再生能源系统电磁干扰问题进行研究,通过对该结构的分析,提出相应电磁干扰噪声问题解决方案,以降低电磁兼容问题对转换系统的影响,进一步提高并网发电的可靠性。

1 基于 Z 源功率变换器的可再生能源系统

1.1 Z 源功率变换器理论

Z 源功率变换器利用一种新的变换器拓扑和理论用于克服传统电压源和电流源变换器结构上的不足。由于 Z 源功率变换器引入了一个阻抗网络,从而使得主变换器电路与电源或负载耦合。因此, Z 源功率变换器即不同于电压源变换器,也不同于电流源变换器。

Z 源功率变换器为一个由电感 L_1 、 L_2 和电容 C_1 、 C_2 组成的 X 型二端口网络,如图 1 所示。该网络可以提供一个阻抗源即 Z 源,以耦合变换器(或逆变器)与直流源或负载相连。与传统电压源或电流源不同, Z 源网络的独特之处在于其可以开路 and 短路,这种特性使得主电路可以根据需要进行任意升压或降压。与传统电压源或电流源网络相比, Z 源网络为电源、主电路和负载提供了很大的灵活性:

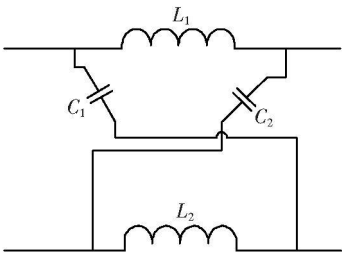


图 1 Z 源变换器拓扑结构

Fig.1 Topology of Z-source converter

(1) 由于 Z 源功率变换器既可以看做电压源,也可看做电流源。因此,相较于传统电压源或电流源变换器, Z 源变换器的直流电源选择范围较大,可以是电池、二极管整流器、晶闸管变流器、燃料电池堆、电感、电容或是几种直流电源的组合形式。该特性使得 Z 源变换器使用范围更为广泛。

(2) 相较于传统电压源或电流源变换器主电路性质单一特点, Z 源变换器的主电路既可为传统电压源结构,也可以为传统电流源结构。另外, Z 源变换器所采用的开关可以是开关器件与二极管的组合,即并联或串联两种组合形式。

(3) 相较于传统电压源或电流源变换器负载必须与变换器形式相匹配, Z 源变换器的负载可为感性负载或容性负载。

由以上分析可知, Z 源功率变换网络灵活性较好,可将任何形式的电源耦合到任何形式的主变换器电路,同时可给任何形式的负载供电,所以其在可再生能源发电系统中得到广泛应用。

1.2 基于 Z 源功率变换器的风能并网逆变系统

利用 Z 源功率变换器的风力并网发电系统电路与控制结构如图 2 所示,该系统由永磁同步风力发电机及假想负载、整流器、阻断二极管、Z 源网络、H 桥式逆变电路和交流电感 L_{ac} 等组成。

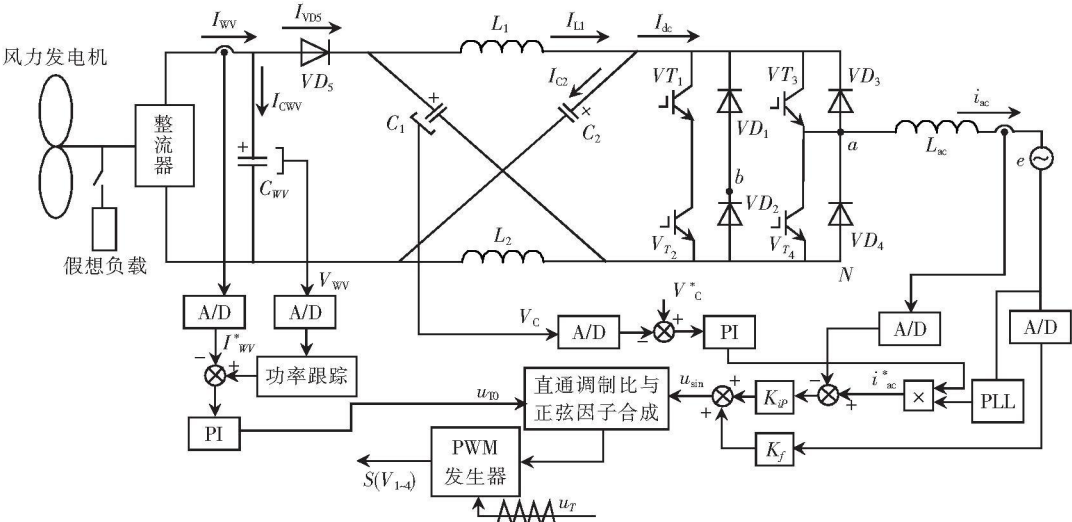


图 2 基于 Z 源功率变换器的风力并网发电系统拓扑结构图

Fig.2 Topology of wind power generation system based on Z-source converter

风能推动风力发电机从而产生交流电能, 该交流电通过整流器和电解电容 C_{WV} 后转变为直流电, 通过 Z 源功率变换器可将直流电变压成为所需要的电压, 通过 H 桥逆变电路和平波电抗, 将直流电逆变为交流电.

为使 Z 源网络满足网络对称条件, 其网络内部电感和电容应满足:

$$\begin{cases} L_1 = L_2 = L, \\ C_1 = C_2 = C, \end{cases} \tag{1}$$

根据对称与等效原理, 不难得出:

$$\begin{cases} V_{L1} = V_{L2} = V_L, \\ V_{C1} = V_{C2} = V_C \end{cases} \tag{2}$$

假设 Z 源功率变换器增益为 B , 其开关周期为 T , 用于正弦调制时间为 T_1 , 则整个 Z 源变换器的输出调制正弦波电压可表示为:

$$V_{ab} = V_{PN} \frac{T_1}{T} M = \frac{T_1}{T_1 - T_0} V_{WV} M = BM V_{WV}, \tag{3}$$

其中, M 为正弦脉宽波调制因子, 且满足 $M \leq 1$; V_{PN} 为 Z 源功率变换器输出电压; V_{WV} 为 Z 源功率变换器输入电压.

由 (3) 式不难看出, 通过控制 H 桥直通零矢量占空比就可以调制出大于直流输入的交流电压.

1.3 基于 Z 源功率变换器的太阳能逆变系统

采用 Z 源功率变换器的光伏并网发电系统主电路与控制结构如图 3 所示, 该系统主要由光伏电池, Z 源网络、逆变系统、平波电抗器等组成.

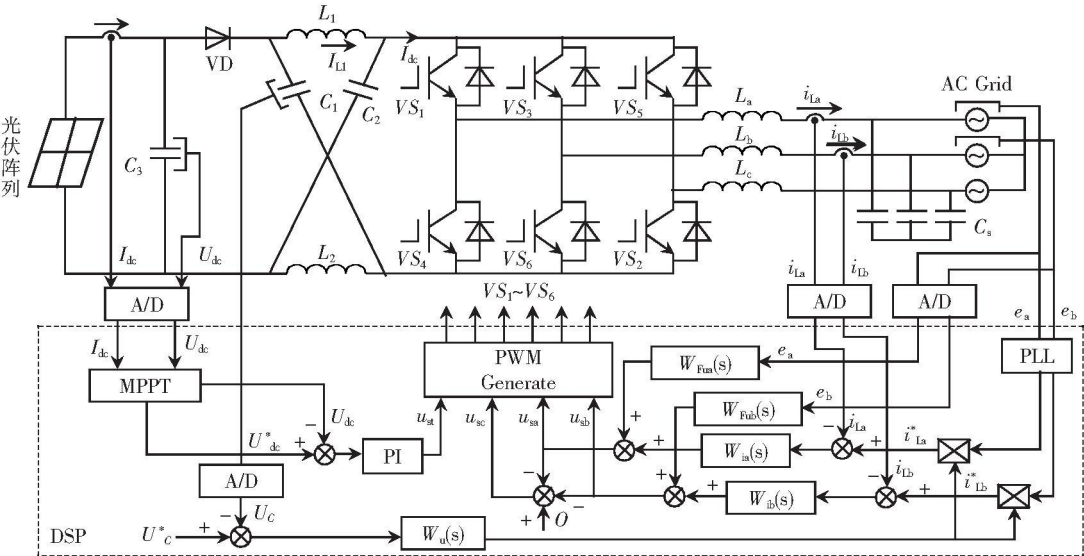


图 3 基于 Z 源功率变换器的光伏发电系统电路结构

Fig.3 Topology of PV power generation system based on Z-source converter

与风能逆变系统不同, 在光伏发电系统中, 其光伏阵列可将太阳能直接转化为直流电, 通过 Z 源功率变换器对该直流电进行升/降压处理, 以使该直流电压达到所需电压, 最后利用 H 桥逆变电路将该直流电转化为交流电, 从而达到并网目的.

2 可再生能源系统电磁干扰噪声测量

由于可再生能源并网发电过程中, 其 Z 源功率变换器需要较高频率的控制器进行控制, 并且其逆变电路中的开关器件开关频率较高, 因此其电磁干扰问题成为可再生能源系统并网发电中急需解决的问题.

Z 源功率变换器和 H 桥式逆变电路的主要作用是将光伏、风能等新能源产生的直流电能转化为交流电能从而达到并网的目的. 而传统测量电磁干扰噪声系统是将线性阻抗稳定网络 LISN (Line Impedance

Stabilization Network) 的输入端与电网相连接, 以隔绝电网中耦合到被测设备上的电磁干扰噪声; 其输出端接被测系统, 以提取被测系统的传导电磁干扰噪声. 由于可再生能源发电系统目的性与传统电力电子设备不同, 所以该种测试方法不适用于可再生能源的传导电磁干扰噪声测量.

传统 LISN 测试原理如图 4 所示, 其核心是通过电感、电容和 1 kΩ 阻抗构成的测试网络, 输入端口与电网相连. 通过 LISN 的内部构造滤除由于电网上高次谐波等因素所引起的电磁干扰噪声, 避免其混入待测设备的电磁干扰噪声中从而 影响测量精度; 而输出端口与被测设备相连接以提取被测设备的传导电磁干扰噪声. 传导电磁干扰噪声通常由共模 (CM) 噪声和差模 (DM) 噪声两个分量构成, 其中共模噪声存在于火线 (L)、中线 (N) 与地线 (E) 之间, 大小相等, 方向相同; 而差模噪声存在于火线 (L) 与中线 (N) 之间, 大小相等, 方向相反, 如式 (4)、(5) 所示.

$$V_{L-G}(\tilde{\omega}) = 50[I_{CM}(\tilde{\omega}) + I_{DM}(\tilde{\omega})] = V_{CM}(\tilde{\omega}) + V_{DM}(\tilde{\omega}),$$

(4)

$$V_{N-G}(\tilde{\omega}) = 50[I_{CM}(\tilde{\omega}) - I_{DM}(\tilde{\omega})] = V_{CM}(\tilde{\omega}) - V_{DM}(\tilde{\omega}).$$

(5)

根据新能源系统的结构不同, 其被测部分应当是用于与电网并网的逆变系统的 EMI 噪声, 因此, 根据线性阻抗稳定网络的结构原理, 想要测量逆变系统并网时的电磁干扰噪声, 应该采用如图 5 所示的测量方法.

在该测试方法中, 线性阻抗稳定网络的输入端口接直流蓄电池, 以隔绝直流部分可能存在的传导电磁干扰噪声. 而其输出端口与逆变系统和并网的电网相连, 用以检测该逆变系统中传导电磁干扰噪声, 并将测量得到的火线对地、零线对地的电磁干扰噪声输入到测试设备中, 并通过噪声分离网络将这两者噪声进行矢量和差, 从而得到逆变电路的共模噪声和差模噪声的频谱, 对于这两个模态噪声的频谱进行分析, 以确定滤波器的设计参数.

3 可再生能源传导电磁干扰噪声抑制方法

由于 Z 源功率变换器可同时作为电压源或电流源, 所以对基于 Z 源功率变换器可再生能源电能转换系统中传导电磁干扰噪声抑制的方法除了加入滤波器外, 还可通过在可再生能源系统直流侧串联电感或并联电容来实现.

以风力发电系统中逆变电路为例来说明在直流侧对于 EMI 噪声进行抑制的方法. 其抑制原理如图 6 所示.

风力发电系统主要是由风力发电机、充电器和逆变系统所组成. 风力发电机因风量不稳定, 故其输出的是 13~ 25V 变化的交流电, 须经充电器整流, 再对蓄电池进行充电. Z 源功率变换电路将蓄电池中电压进行升压后, 采用逆变电路将直流电转化为交流电, 才能保证该电力能源的稳定使用.

由于风能在发电过程中存在着不连续性以及大小不可控性, 储存的电 能也极不稳定. 该种不稳定的电能会直接影响到逆变系统中的传导 EMI 噪声的大小, 使得逆变后的电能由于 EMI 噪声过大而不能并网. 为此, 在采取以下两种改善直流电源输出质量的措施:

- (1) 在直流源侧并联大电容
- 在直流侧并联大电容时, 根据电容的储能性, 使得直流侧等效为为恒定电压源, 由于电容的钳位作用使得直流侧电压输出基本无脉动, 同时直流回路呈现低阻抗.
- (2) 在直流源侧串联大电感

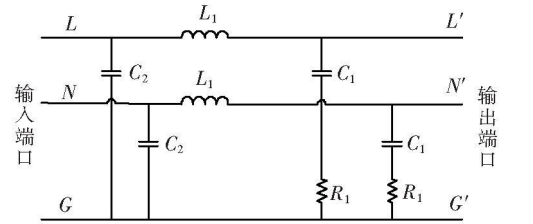


图 4 线性阻抗稳定网络结构图

Fig.4 Topology of linear impedance stabilization network

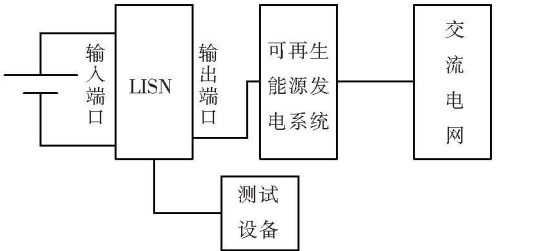


图 5 逆变系统并网时电磁干扰噪声测量方法

Fig.5 EMI noise test of inverter system

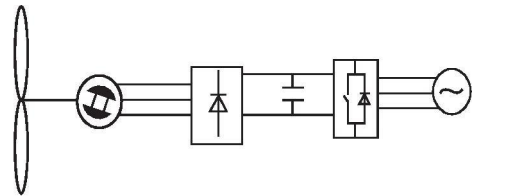


图 6 风力发电系统结构

Fig.6 Topology of wind power system

在直流源侧串联大电感使得直流侧等效为恒定电流源, 直流侧电流输出基本无脉动, 回路呈现高阻抗。

4 实验验证

利用线性阻抗稳定网络和测试设备对可再生能源系统的电磁干扰噪声进行测试, 以验证该方法的有效性。

测量逆变系统的传导 EMI 噪声, 并利用分离网络将其分离成为共模噪声和差模噪声, 将其结果与 FCC 标准相比较如图 7 所示。

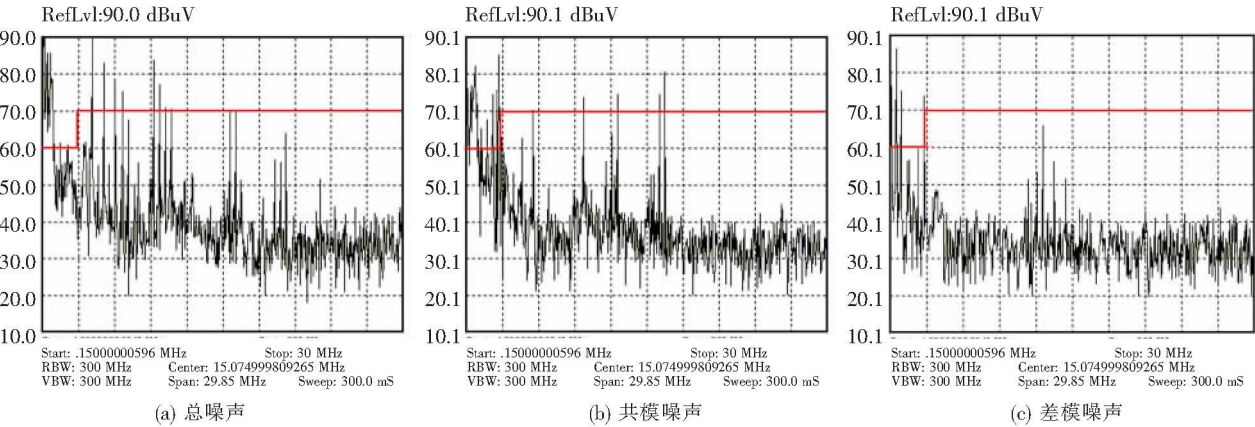


图 7 加入滤波器前逆变系统传导电磁干扰噪声

Fig.7 Conduced EMI noise test of inverter system before filter accessed

由图 7 可以看出, 在加入滤波器前, 该逆变系统的传导电磁干扰噪声均超过 FCC 标准, 并且, 其噪声分量以共模噪声为主。而差模噪声仅仅在低频段有稍许超标。由此, EMI 噪声分析仪设计了一个集共模差模滤波器于一体的综合滤波器 (如图 8 所示), 其中, L_{CM} 为共模扼流圈; C_{CM} 为共模滤波电容; C_{DM} 为差模滤波电容, 其参数如表 1 所示。

表 1 滤波器元器件参数

Table 1 Component parameters of EMI filter

元器件	参数
L_{CM}	20 mH
C_{CM}	0.82 μ F
C_{DM}	0.2 μ F

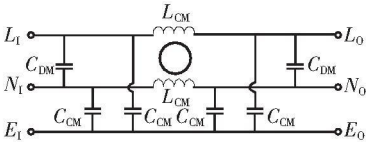


图 8 EMI 噪声分析仪设计的滤波器结构

Fig.8 Topology of filer designed by EMI analyzer

将所设计的 EMI 滤波器加入到逆变电路中, 再次测量电路中传导电磁干扰噪声如图 9 所示。

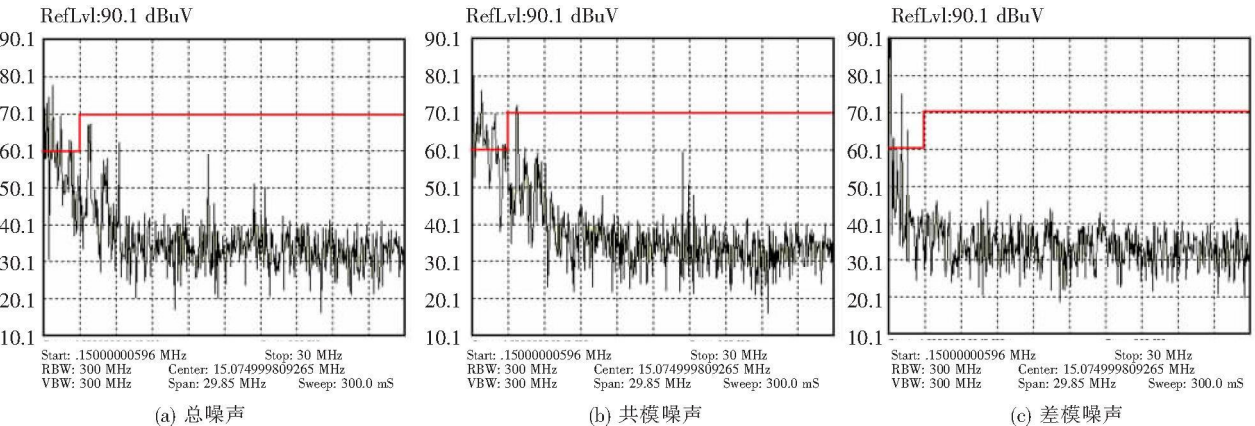


图 9 加入滤波器后逆变电路的传导电磁干扰噪声

Fig.9 Conduced EMI noise test of inverter system after filer accessed

由图 9 可以看出, 加入滤波器后, 其传导电磁干扰噪声都能够符合 FCC 标准, 其中, 差模噪声的抑制效果最为有效. 该实验结果证明本测试方法的有效性.

5 结语

本文通过对于新能源并网时逆变系统传导电磁干扰问题提出了一个新的测试方法, 利用该方法可以更为准确地测量逆变电路的电磁干扰噪声, 并通过在直流侧并联电容以消除由于新能源不稳定而对于逆变系统造成的噪声影响. 同时利用 EM I 噪声分析仪对于逆变系统的传导电磁干扰噪声进行分析, 以指导滤波器的设计, 实验结果表明该方法切实可行.

[参考文献] (References)

- [1] Jih Sheng Lai, Xudong Huang. inverter EMI modeling and simulation methodologies[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2006, 53(3): 736-745.
- [2] Chen Hao, Qiu X, Zhao Y. Conductive EMI noise measurement for switched reluctance drive[J]. Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences, 2009, 17(3): 78-81.
- [3] Chen Hao, Zan Xiaoshu. Control of the double switched reluctance variable speed wind power generators parallel system[J]. Dynamics of Continuous, Discrete and Impulsive System, 2005(Series B): 301-305.
- [4] Chen Hao. The Novel wind power-solar energy photovoltaic complementary power plant system[J]. Dynamics of Continuous, Discrete and Impulsive System, 2006(Series B): 1108-1112.
- [5] 彭方正, 房绪鹏, 顾斌, 等. Z 源变换器 [J]. 电工技术学报, 2004, 19(2): 47-51.
Peng Fangzheng, Fang Xupeng, Gu Bin, et al. Z-source converter[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2004, 19(2): 47-51. (in Chinese)
- [6] 张先飞, 郑建勇, 胡敏强, 等. Z 源逆变器光伏并网控制策略研究 [J]. 电气传动, 2009, 39(10): 8-12.
Zhang Xianfei, Zheng Jianyong, Hu Minqiang, et al. Study of the control strategy for the photovoltaic grid-connected generation system based on Z-source inverter[J]. Electric Drive, 2009, 39(10): 8-12. (in Chinese)

[责任编辑: 刘 健]