

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2015.04.010

T型Z源拓扑结构及其性能研究

杨亮, 易吉良, 李军军, 贺正芸

(湖南工业大学 电气与信息工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘要: T型Z源逆变器是一种新的逆变器拓扑结构, 是将低漏感变压器替代传统Z源逆变器中的电感, 以简化拓扑结构, 提升性能。先介绍了多种T型Z源拓扑结构, 分析对比其主要性能指标, 最后利用Matlab/Simulink软件对T型Z源逆变器和传统Z源逆变器进行仿真。仿真结果表明, T型Z源逆变器比传统Z源逆变器在升压能力上更有优势, 仿真验证了T型Z源拓扑的可行性。

关键词: T型Z源逆变器; 变压器变比; 升压能力; 漏感

中图分类号: TM464

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2015)04-0045-05

T-Z Source Topology Structure and Its Performance Research

Yang Liang, Yi Jiliang, Li Junjun, He Zhenyun

(School of Electrical and Informational Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: T type Z source inverter is a novel topology of the device. Replaces the traditional Z source network inductor with a low leakage inductance transformer to achieve the simplified topology and the performance improving. Introduces various T-Z source topological structures, compares their main performance indicates, and simulates T-Z source inverter and traditional Z source inverter by using Matlab/Simulink software. Simulation results show that the T-Z source has a better boosting capacity, and the simulation verified the feasibility of T type Z source topology.

Keywords: T-Z source inverter; transformer turn ratio; boosting ability; leakage inductance

0 引言

Z源逆变器是通过插入直通零矢量来实现升压功能, 通过改变逆变器调制因子来实现降压功能, 是一种具有升降压特性的单级逆变器^[1-2]。它能满足输入电压宽范围变化要求, 安全可靠, 在光伏发电、燃料电池、电动汽车领域得到广泛应用。目前, 对Z源逆变器的研究主要集中在调制策略及拓扑改进方面。根据直通零矢量生成方式的不同, Z源逆变器的调制策略可分为: 简单升压、最大升压、最大恒定升压、三次谐波注入、直通分段和正弦载波^[3]。不同的调制策略使得Z源逆变器在直通占空比、升压因子、电压

增益、有源器件应力上存在差异, 导致Z源逆变器性能有所不同。此外, Z源拓扑结构形式多样, 目前常见的有: 传统X型、改进X型、开关电感型和电容辅助延展型等^[4]。不同拓扑类型在升压能力、电容应力、拓扑成本和运行效率上有所不同。改进型拓扑在器件应力、输入电流、启动冲击等问题上虽得到部分改善, 但这些Z源逆变器的升压能力有一定的局限。

为打破上述局限性, 研究者们进行不断尝试和改变, 用一台低漏感变压器替代传统Z源网络中的电感, 减少电容数目, 衍生了一种新型拓扑T型Z源逆变器^[5]。相比传统Z源逆变器, 其减少了无源

收稿日期: 2015-05-20

基金项目: 湖南省教育厅基金资助项目(12C0055), 湖南省科技厅基金资助项目(2014GK3001)

作者简介: 杨亮(1989-), 男, 湖南邵阳人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为电力电子与电力传动,

E-mail: 445912804@qq.com

器件个数, 扩展了升压能力, 在尺寸、损耗和成本方面也占有优势。因此, 本文对 T 型 Z 源进行了研究, 并利用 Matlab/Simulink 进行建模仿真, 仿真结果表明 T 型 Z 源具有较优的综合性能。

1 T 源逆变器

T 型 Z 源逆变器是在 Z 源拓扑基础上, 将一台变压器和电容器接成 T 型, 简称 T 源逆变器, 如图 1 所示。图中, V_{dc} 为直流输入电压, D_s 为电力二极管, L_{11} 与 L_{22} 为变压器一二次绕组电感。

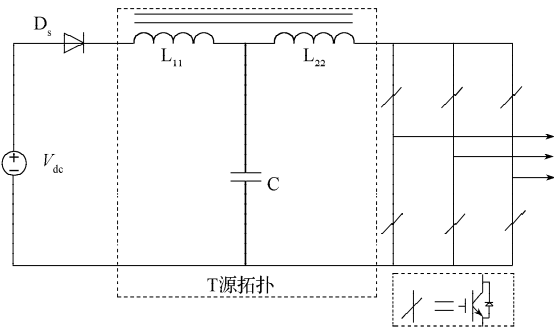


图 1 T 源逆变器拓扑
Fig. 1 T source inverter topology

T 源逆变器与传统 Z 源逆变器一样, 通过控制桥臂的直通时间实现升压, 通过调节 T 源逆变器变比 N 使输出交流电压可调。由文献[6]可知, 传统 Z 源逆变器的升压因子为

$$B = \frac{V_{PN}}{V_{dc}} = \frac{1}{1 - \frac{2T_0}{T}} = \frac{1}{1 - 2D}, \quad (1)$$

式中: V_{PN} 为直流链电压;
 T_0 为直通零矢量时间;
 T 为开关周期;
 D 为直通占空比。

由文献[7-8]可知, T 源逆变器因存在一二次侧绕组匝数变比 N , 其升压因子 B 、输出线电压峰值 U_{ac} 分别为:

$$B = \frac{1}{1 - \frac{(1+N)T_0}{T}} = \frac{1}{1 - (1+N)D}, \quad (2)$$

$$U_{ac} = \frac{M}{2} V_{PN} = \frac{M}{2} B V_{dc}. \quad (3)$$

式中 M 为调制系数。

比较 Z 源和 T 源逆变器两者的升压因子 B 可知, 当直通占空比 D 恒定时, T 源逆变器通过调节变压器变比 N 能使输出电压可调。当 $N=1$ 时, T 源与 Z 源逆变器拓扑的升压能力一样; 当 $N>1$ 时, T 源逆变器比 Z 源逆变器具备更高的升压能力。通过控制变比 N 、直通占空比 D 、调制系数 M 就能灵活控制 T 源逆变

器的输出电压。

T 源逆变器的主要特点是直流电源与逆变器之间存在共同的直流通道, 这与传统 Z 源网络有所不同。在直通状态时, 能量由充好电的电容传递给电感, 完成储能过程; 在非直通状态时, 储好能量的电感和直流电源共同作用向逆变器提供直流输入电压。图 2 是 T 源逆变器在直通和非直通状态的等效电路。

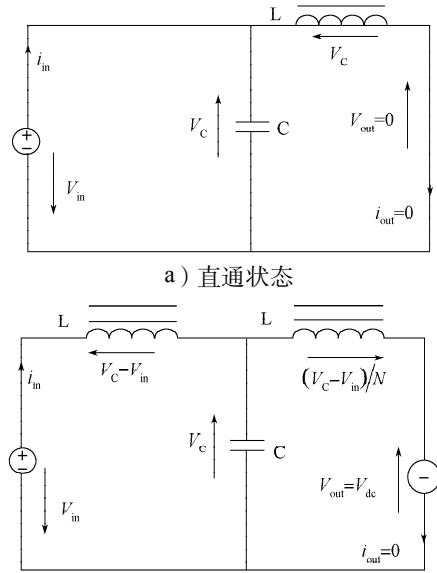


图 2 T 源逆变器的等效电路
Fig. 2 The equivalent circuit of T source inverter

2 各种改进的 T 源逆变器

上述 T 源逆变器是 T 型 Z 源拓扑结构中最为简洁的一种, 其逆变器桥臂左边网络仅利用一台变压器和一个电容。下文再介绍几种改进的 T 源逆变器。

2.1 TZ 源逆变器

在保留 Z 源 X 型对称结构下, 用变压器 T_1 和变压器 T_2 代替传统 Z 源拓扑中的 2 个电感, 其它保持不变, 将这种逆变电路称为 TZ 源逆变器^[9], 如图 3 所示。TZ 源逆变器的变压器变比为 $N_i = n_{i2}/n_{i1}$ ($i=1, 2$), 其中 n_{i1} 为第 i 台变压器一次侧绕组匝数, n_{i2} 为第 i 台变压器二次侧绕组匝数。在不需添加额外电子器件下, TZ 源逆变器通过调节变压器变比 N_1 和 N_2 , 即使较小的直通占空比, TZ 源逆变器可获得较高的升压因子。与其它改进型 Z 源拓扑相比, TZ 源逆变器在尺寸、损耗、输出电能质量方面有所改善。

为防止变压器铁芯饱和与改善电流分布, 可将变压器 T_1 变比设为 $n_{12}:n_{11}=1:1$, 变压器 T_2 变比设为 $n_{22}:n_{21}=n_{22}:1$ 。但是, 不足之处是启动过程存在谐振现象, 在二极管、变压器绕组、电容、开关管 IGBT 中产生很大的谐振电流, 故而产生峰值电压。如不采取有

效防范措施,有可能损坏逆变器。

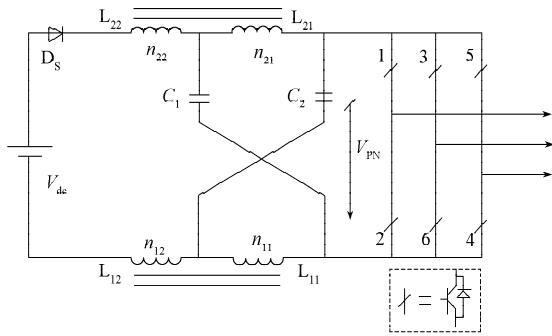


图3 TZ源逆变器

Fig. 3 TZ source inverter

2.2 Quasi-TZ源逆变器

为了改善TZ源逆变器存在输入电流不连续、启动初期存在冲击现象, F. Blaabjerg等^[10]提出了一种Quasi-TZ源逆变器,即在TZ源拓扑电路的基础上,嵌入2个电感,如图4所示。

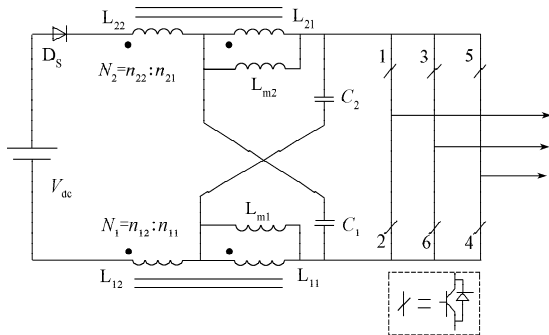


图4 Quasi-TZ源逆变器

Fig. 4 Quasi-TZ source inverter

启动初期, Quasi-TZ拓扑电路能有效抑制冲击现象,消除输入电流的不连续性,且与TZ源逆变器相比,电容电压应力更小。借鉴改进X型Z源拓扑将直流电源位置进行改变的方法,将直流输入电源挪动到T源网络与逆变器之间,该拓扑结构不存在启动电流回路,所以冲击电流也不存在,进一步改

善了Quasi-TZ源逆变器的性能。通过控制直通占空比 D 从零开始逐步调节,以实现平滑软启动,但其缺点是变压器绕组和电容之间存在谐振现象^[11]。

2.3 Γ 源逆变器

除了上述改进型T源逆变器,文献[12]提出了 Γ 源逆变器,如图5所示。为了获取高增益电压输出,改进型T源逆变器的理想变比趋势均为 $N_T \rightarrow \infty$,而 Γ 源逆变器的理想变比趋势却相反,为 $N_T \rightarrow 1$ 。 Γ 源逆变器的主要特点是随着变压器变比的降低,其输出电压呈上升趋势,因此,将 Γ 源逆变器变比范围设置为 $1 < N_T \leq 2$ 较为合理,这是一种新型理念。

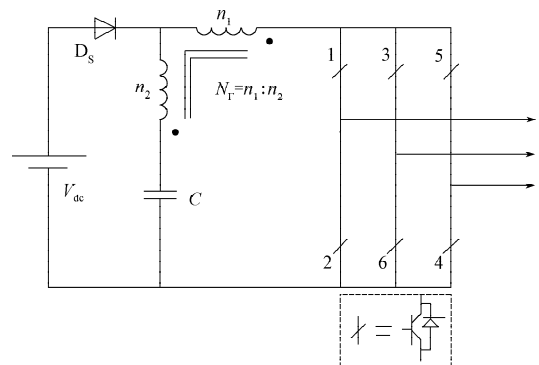


图5 Γ 源逆变器

Fig. 5 Γ source inverter

Γ 源逆变器因所需匝数较少,因此磁化电流更小,2个绕组间的应力分布更好。缺点是当变比为 $1 < N_T \leq 2$ 时,此时的 Γ 源逆变器由于磁芯单匝电感量很大,易造成电感饱和,导致损耗增加,发热严重,这会直接影响 Γ 源逆变器的稳定性。因此该 Γ 源逆变器存在一定缺陷,在实际应用中受到限制。

3 各种逆变器的性能比较

各种逆变器性能比较如表1所示。

表1 5种逆变器的拓扑结构性能比较

Table 1 The topology performance comparison for 5 inverters

逆变器类型	升压因子 B	变比 N	电容应力 V_C	直流链电压 V_{PN}	输出相电压 U_{ac}
Z源	$\frac{1}{1-2D_Z}$	不适用	$\frac{1-D_Z}{1-2D_Z} \cdot V_{dc}$	$\frac{1}{1-2D_Z} \cdot V_{dc}$	$\frac{M}{2} \cdot \frac{V_{dc}}{1-2D_Z}$
T源	$\frac{1}{1-(1+N_T)D_T}$	$N_T \geq 1$	$\frac{1-D_Z}{1-(1+N_T)D_Z} \cdot V_{dc}$	$\frac{1}{1-(1+N_T)D_T} \cdot V_{dc}$	$\frac{M}{2} \cdot \frac{V_{dc}}{1-(1+N_T)D_T}$
TZ源	$\frac{1}{1-(1+N_1+N_2)D_{TZ}}$	$N_1 \leq 1, N_2 \geq 1$	$\frac{1-D_{TZ}}{1-(1+N_1+N_2)D_{TZ}} \cdot V_{dc}$	$\frac{1}{1-(1+N_1+N_2)D_{TZ}} \cdot V_{dc}$	$\frac{M}{2} \cdot \frac{V_{dc}}{1-(1+N_1+N_2)D_{TZ}}$
Quasi-TZ源	$\frac{1}{1-(2+N_1+N_2)D_Q}$	$N_1 \geq 1, N_2 \geq 1$	$\frac{(1+N_1+N_2)D_Q}{1-(2+N_1+N_2)D_Q} \cdot V_{dc}$	$\frac{1}{1-(2+N_1+N_2)D_Q} \cdot V_{dc}$	$\frac{M}{2} \cdot \frac{V_{dc}}{1-(2+N_1+N_2)D_Q}$
Γ 源	$\frac{1}{1-(1+1/(N_T-1))D_T}$	$1 < N_T \leq 2$	$\frac{1-D_T}{1-(1+1/(N_T-1))D_T} \cdot V_{dc}$	$\frac{1}{1-(1+1/(N_T-1))D_T} \cdot V_{dc}$	$\frac{M}{2} \cdot \frac{V_{dc}}{1-(1+1/(N_T-1))D_T}$

由表1可知:

1) Z源逆变器因其不存在绕组变比,所以绕组

变比 N 这栏为不适用。

2) T 源和 Γ 源逆变器只使用了一台变压器, 因此两者只有一个变压器变比。T 源逆变器变比范围为 $N_T \geq 1$, Γ 源逆变器变比范围为 $1 < N_\Gamma \leq 2$ 。

3) TZ 源和 Quasi-TZ 源逆变器包含了 2 台变压器, 因此, 存在 2 个变比 N_1, N_2 。

4) T 型类拓扑除了 Γ 源逆变器外, 升压能力都随变比增加而增大, Γ 源逆变器却相反, 随变比增加却减小。同理, 电容应力 V_C 、直流链电压 V_{PN} 、输出相电压 U_{ac} 类似。

5) 此外, 假如 $B=1/(1-6D)$ 时, 根据表 1 公式可知, 为获得相同的升压因子 B , T 源逆变器变比需 $N_T=5$ 才符合; 而 Quasi-TZ 源逆变器变比只需 $N_Q=2$ 即可。这样后者匝数比可以做的更小, 尺寸和重量上得到优化, 当后者变比更小, 变压器漏感值也更小, 输出特性越理想, 其不足是拓扑结构相对要复杂一些。

4 T 源逆变器仿真分析

本文对各种 T 源拓扑结构进行了理论分析后, 通过 Matlab/Simulink 软件对上述 4 种拓扑和传统 Z 型拓扑进行仿真, 分析它们在简单升压方式下的三相阻性负载^[13-14]。仿真参数如表 2 所示, 仿真电路如图 6 所示。

表 2 逆变器仿真参数表
Table 2 Inverter simulation parameter

参数	数值
直流输入电压 V_{dc} / V	100
T 源主磁电感 / mH	1
T 源漏磁电感 / μH	1
T 源拓扑电容 / μF	200
T 源匝数变比	$N_1=1.5, N_2=0$
开关频率 / kHz	10
直通占空比	$D=0.15$
调制因子	$M=0.95$
阻性负载	$R=30 \Omega, L=1\ 000 \mu H$

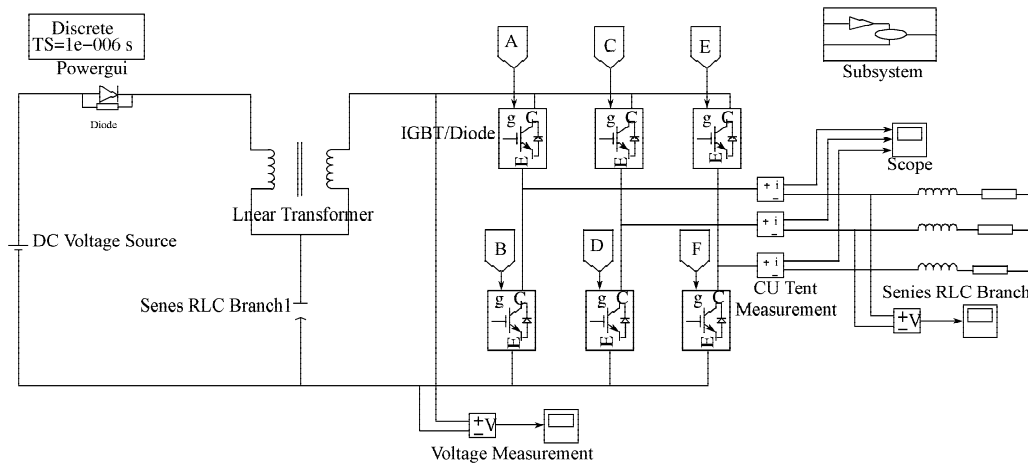


图 6 T 源逆变器仿真电路图
Fig. 6 Simulation circuit of T source inverter

滤波后, 传统 Z 型、T 型、TZ 型、Quasi-TZ 型、 Γ 型的输出交流电压 U_{ac} 、电流 I_{out} 对比结果, 如图 7 所示。

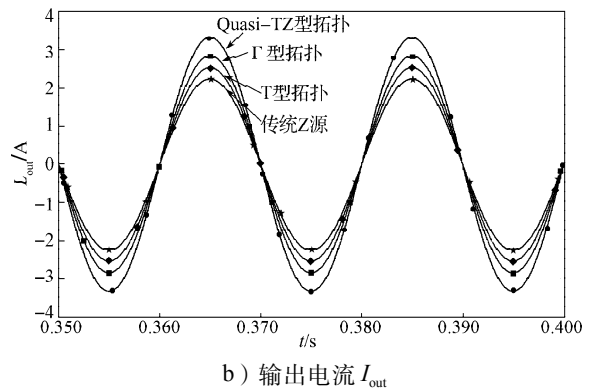
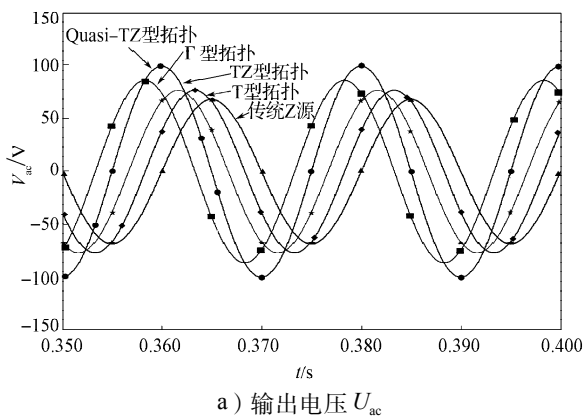


图 7 不同逆变器的仿真结果图
Fig. 7 Simulation results of different inverters
从上述 5 种逆变器的仿真结果可知, 其性能对比如表 3 所示。由图 7 和表 3 可知: 传统 Z 型逆变器的

输出电压最低, Quasi-TZ型最大(见图7a);在T型Z源逆变器中,当变压器变比 $N_1=1.5$, $N_2=0$ 时, T型和TZ型拓扑的输出电压、电流基本相等(见图7)。可见仿真试验得到的主要参数波形与上文理论分析相符。

表3 5种逆变器的拓扑性能对比表

拓扑类型	升压倍数	拓扑成本	U_{ac}/V	I_{out}/A
传统Z型	1.42	低	67	2.24
T型	1.60	较高	76	2.53
TZ型	1.60	高	76	2.53
Quasi-TZ型	2.10	最高	99	3.32
Γ 型	1.81	较高	85	2.83

5 结语

本文介绍了多种T源拓扑,对比分析了其拓扑结构及性能。相比传统Z源逆变器, T型Z源仅用一台变压器和电容器组合的T型结构,在不增加额外电子器件的前提下扩展了升压能力,减少了无源器件个数,并添加了一个升压因子变量 N 。在相同的 D , M 情况下, T型Z源拓扑扩展了升压能力;在相同的交流输出电压下,为 D , M 争得了更多的调节空间。

T源拓扑通过调节变压器匝数变比,使输出特性可调,因此比较适合输入宽范围变化的风能、光伏、燃料电池等新能源场合。T源拓扑也有不足之处,随着变比增加,绕组间的漏感值变大,输出特性变差,这些问题需进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] Peng F Z. Z-Source Networks for Power Conversion[C]// APEC 2008. [S. l.]: IEEE, 2008: 1258-1265.
- [3] 薛必翠, 张承慧, 丁新平. Z-源逆变器PWM调制策略的分析与比较[J]. 电工电能新技术, 2013, 32(3): 96-99.
Xue Bicui, Zhang Chenghui, Ding Xingping. Analysis and Comparison of PWM Modulation Strategy for Z Source Inverter[J]. Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy, 2013, 32(3): 96-99.
- [4] 徐聪, 程启明, 李明, 等. Z源逆变器及其多种改进拓扑结构的比较[J]. 电网技术, 2014, 38(10): 2926-2931.

- Xu Cong, Cheng Qiming, Li Ming, et al. A Comparative Simulation Study on Z-Source Inverter and Its Various Improvement Topologies[J]. Power System Technology, 2014, 38(10): 2926-2931.
- [5] Strzelecki R, Adamowicz M, Strzelecka N, et al. New Type T-Source Inverter[J]. Compatibility and Power Electronics, 2009(6): 191-195.
- [6] 盛立建, 张先飞, 郑建勇. Z源逆变器的研究[J]. 江苏电器, 2008(2): 19-23.
Sheng Lijian, Zhang Xianfei, Zheng Jianyong. Study on Z Source Inverter[J]. Jiangsu Electric Appliance, 2008(2): 19-23.
- [7] Qian Wei, Peng Fangzheng, Cha Honnyong. Trans-Z-Source Inverters[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2011, 26(12): 3453-3462.
- [8] Mahendran K, Indhumathy B, Prabha S U, et al. Adapted SVPWM for T-Source Inverter for Renewable Energy System[C]//2012 International Conference on Computing, Electronics and Electrical Technologies. [S. l.]: IEEE, 2012: 404-408.
- [9] Nguyen M K, Lim Y C, Kim Y G. TZ-Source Inverters [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2013, 60(12): 5686-5695.
- [10] Blaabjerg F, Loh P C. Magnetically Coupled Impedance-Source Inverters[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2013, 49(5): 2177-2186.
- [11] Liu Yushan, Ge Baoming, Abu-Rob H, et al. Overview of Space Vector Modulations for Three-Phase Z-Source/Quasi-Z-Source Inverters[J]. IEEE Transactions Power Electronics, 2014, 29(4): 2098-2108.
- [12] Loh P C, Li Ding, Blaabjerg F. Γ -Z-Source Inverters[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2013, 28(11): 4880-4884.
- [13] 蔡交明, 江明, 张永. 基于Simulink的三相Z源逆变器SVPWM仿真研究[J]. 安徽工程学院学报, 2010, 25(4): 40-42.
Cai Jiaoming, Jiang Ming, Zhang Yong. Three-Phase Z-Source Inverter SVPWM Simulation Based on Simulink[J]. Journal of Anhui University of Technology and Science, 2010, 25(4): 40-42.
- [14] 郭天勇, 赵庚申, 程如岐, 等. 基于Matlab的单相Z源逆变器的SVPWM仿真研究[J]. 南开大学学报: 自然科学版, 2009, 42(4): 34-37.
Guo Tianyong, Zhao Gengshen, Cheng Ruqi, et al. SVPWM Simulation of Single-Phase Z-Source Inverter Based on Matlab[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Nankaiensis, 2009, 42(4): 34-37.

(责任编辑: 邓彬)