

三相异步电机的 Z-SOURCE 驱动性能分析

韩 础

(青岛理工大学, 山东 青岛 266520)

摘 要: 通过 SIMULINK/MATLAB 对 Z-SOURCE 驱动系统进行仿真, 研究电机在满负荷和空载两种情况下的电流、转速和电磁转矩, 得到了一个满意的控制结果。

关键词: 交流电机驱动; PWM; Z-SOURCE 逆变器; SIMULINK/MATLAB

中图分类号: TP24

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)21-0086-03

Z-SOURCE drive performance analysis of three-phase induction motor

Han Chu

(Qingdao Technological University, Qingdao 266520, China)

Abstract: By controlling the shoot-through duty cycle, the inverter system using IGBTs, reduces the line harmonics, improves power factor, increases reliability and extends output voltage range. The proposed strategy reduces harmonics, low switching stress power and low common mode noise.

Key words: induction motor drive; pulse width modulation; Z-SOURCE inverter; SIMULINK/MATLAB

传统的电压源逆变器和电流源逆变器拓扑在各种场合得到了广泛的应用, 且控制技术已经非常成熟, 但是摆脱不了其自身所固有的缺点, 从而使得在一些复杂的应用场合, 传统的电压源或电流源逆变器受到了挑战^[1-3]。Z-SOURCE 逆变器为系统的运行提供了一种低成本、高效率、良好操作性的结构。阻抗网络的引进, 将主变换器电路与电源或负载耦合, 使 Z-SOURCE 逆变器既不是电压源逆变器, 也不是电流源逆变器, 从而实现升/降压很宽的调压范围, 输出电压可以高于或低于输入电压。同时, Z-SOURCE 逆变器的抗电磁噪声干扰的能力也是它的优势所在^[3-4]。

1 Z-SOURCE 逆变器

1.1 Z-SOURCE 的结构

Z-SOURCE 是一种基于 Z-SOURCE 储能网络的变换拓扑, 之所以称之为 Z(阻抗)型逆变器, 主要是其直流缓冲和储能电路结合了 VSI 和 CSI 的特点, 由独特的阻抗网络组成, 这样使得 Z-SOURCE 逆变器在直流储能中具有二阶特性, 满足了端口可开路可短路的条件。其电路结构如图 1 所示。电路由输入电源、二极管、两个等值的电容、两个等值的电感组成。其中, 电容和电感连接成“X”形结构。二极管主要是防止反向电流, 电容作为输

入到输出的主要能量转换元件。

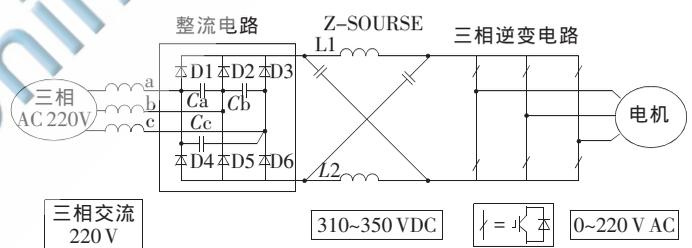


图 1 Z-SOURCE 电路结构

1.2 Z-SOURCE 逆变器工作原理

当 $C_1=C_2, L_1=L_2$, 低压脉动 V_{C1} 和 V_{C2} 的脉冲周期为 T , 则:

$$V_{C1}=V_{C2}=V_C, V_{L1}=V_{L2}=V_L \quad (1)$$

其中, V_C 是电容电压的平均值, V_L 是电感的瞬时电压。考虑到等效和对称原理, 将电路中的器件视为理想元件, 且开关频率足够高, 则有:

$$V_C=V_L, V_f=2V_C, V_d=0 \quad (2)$$

其中 V_f 为输入电压。

在非直通状态下:

$$\begin{cases} V_L=V_{IN}-V_C \\ V_f=V_{IN} \\ V_d=V_C-V_L=2V_C-V_{IN} \end{cases} \quad (3)$$

应用奇葩

Example of Application

假设一个脉冲周期 $T=T_Z+T_N$ ，稳态时电感平均电压 $V_L=0$ ，即：

$$V_L = \frac{1}{T} \left(\int_0^{T_Z} v dt + \int_0^T v dt \right) = \frac{T_Z V_C + T_N (V_{IN} - V_C)}{T} = 0 \quad (4)$$

因此，逆变桥的平均输入电压为：

$$V_C = V_d = V_{IN} \frac{T_N}{T_N - T_Z} = V_{IN} \frac{1-D}{1-2D}, D = \frac{T_Z}{T} \quad (5)$$

当 $D < 0.5$ ，将式(3)~式(5)整理得直流侧母线电压与输入电压增益 B ：

$$\begin{cases} V_d^* = V_C - V_L = 2V_C - V_{IN} = V_{IN} \frac{1}{1-2D} V_{IN} B \\ B = \frac{1}{1-2D} = \frac{T_N}{T_N - T_Z} \geq 1 \end{cases} \quad (6)$$

当正弦脉宽调制等振幅时，输出的交流电压基波幅值为：

$$\begin{cases} V_{out(max)} = M \frac{V_d^*}{2} = \frac{M}{1-2D} \frac{V_{IN}}{2} = K \frac{V_{IN}}{2} \\ K = \frac{M}{1-2D} \end{cases} \quad (7)$$

其中 K 为增益因子。

由式(7)可知，通过控制直流零矢量占空比 D 和调制因子 M 就可得到任意大小的交流输出电压。这同传统的逆变器相比，系统的调压范围明显得到增加。

2 PWM 控制技术

PWM 逆变器可分为单相、三相。这些变频器能产生交流电压的变量级以及变频。PWM 逆变器常用于交流电机变频变压反馈调速驱动。为了得到很宽的调速范围，交流电压需要改变频率与占空比^[5-6]。Carrier-based

PWM 方法经常应用在逆变器中，因为它们都很简单，易于实现，如图 2 所示。开关信号生成 PWM 波形如图 3 所示。这里生成的 PWM 波形实际上是由方波和三角波叠加而成，也称 SPWM 法。

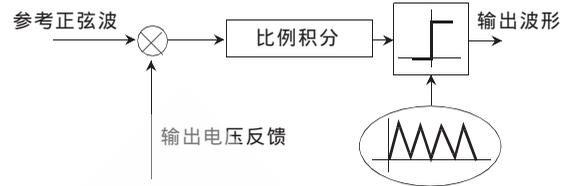


图 2 PWM 生成电路

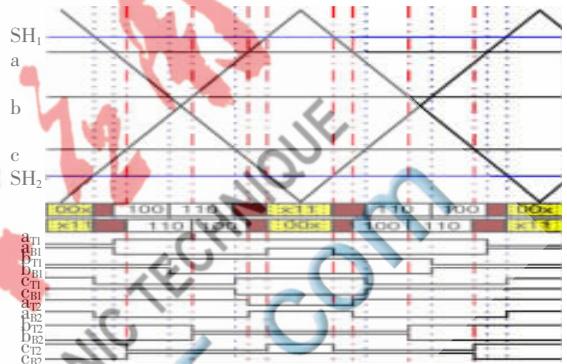


图 3 开关信号和 Carrier-based PWM

3 仿真实验

图 4 显示了 Z-SOURCE 系统驱动异步电机的主电路配置，即传统的 ASD 系统。Z-SOURCE 的 ASD 系统的主电路由三部分组成：二极管整流电路、直流环节和逆变桥电路。

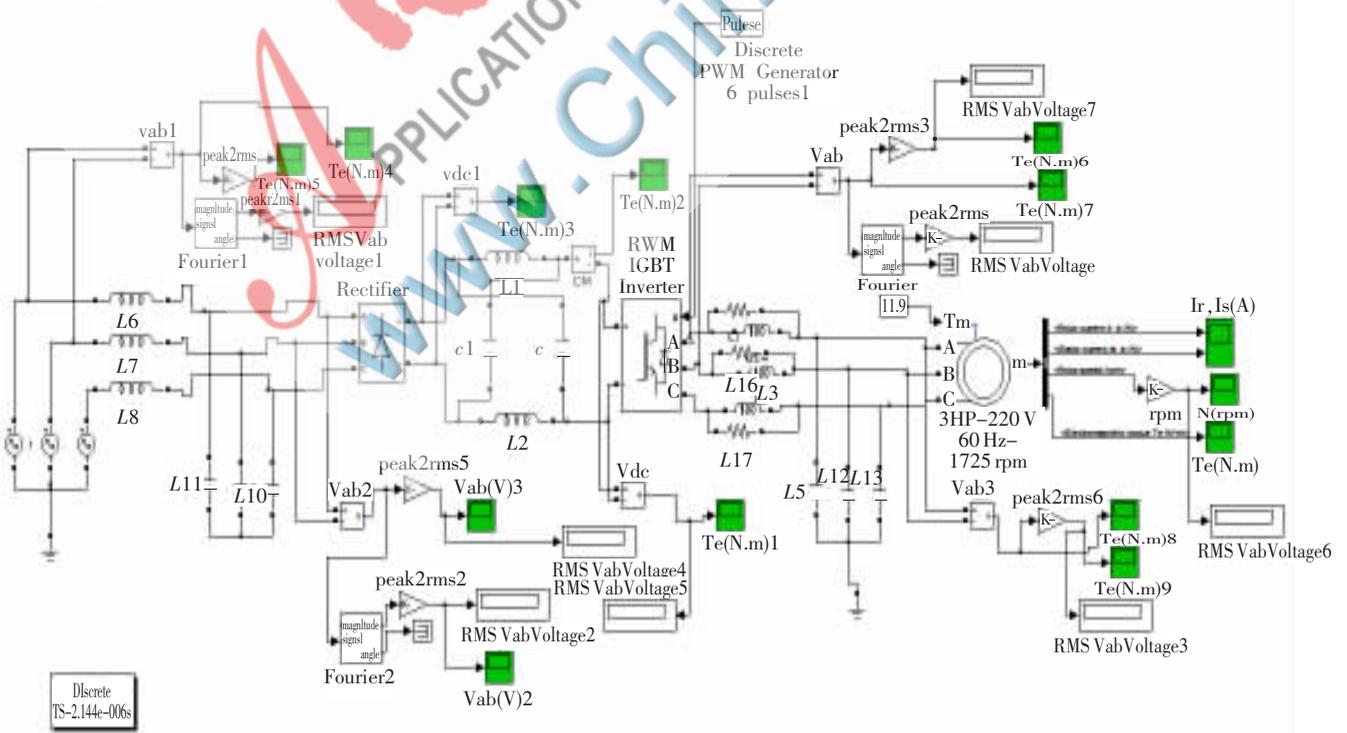


图 4 Z-SOURCE 系统 PWM IM 驱动的 SIMULINK 模型

3.1 异步电机满负荷响应 ($T_n=11.9\text{ Nm}$)

图5所示为Z-SOURCE驱动异步电动机的电压波形。由于Z-SOURCE阻抗网络,在这里直流侧电压升高到309V,相当于直流环节电压220V的1.38倍。定子、转子的线圈绕组电流在短时间内瞬变,如图6~图8。

启动电流很大,但1.16s范围内达到稳态值。定子电流稳态值等于13.4A。稳态转子电流值等于13.10A。观察到速度达到稳态值在1.09s,转速为1718r/min时电机负荷为11.9Nm。所以当电机收到Z-SOURCE逆变器网络的反馈信号,随着时间的增加速度递增,这是由于电压经过Z-SOURCE变频器后达到218V。异步电动机的电磁转矩波形如图9所示。

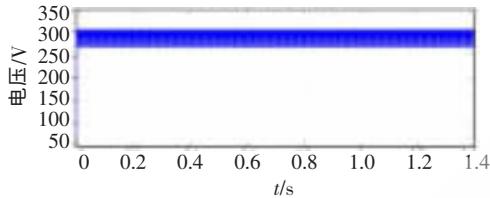


图5 直流侧电压波形

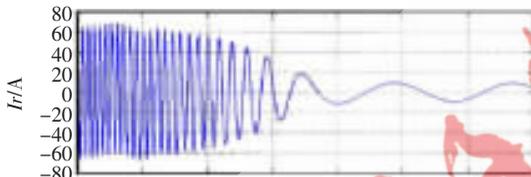
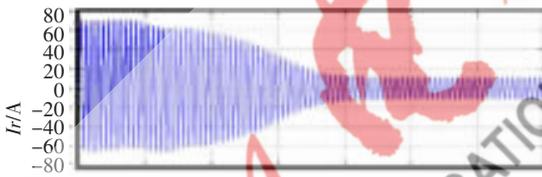
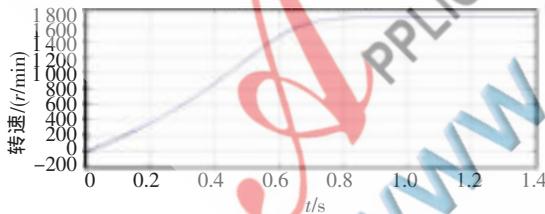
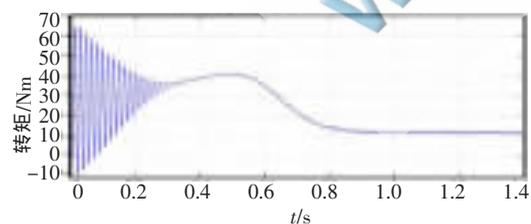
图6 转子电流(满负荷下的单相电流 $I_r=19.06\text{ A}$)图7 定子电流(满负荷下的一相电流 $I_s=17.09\text{ A}$)图8 满负荷下的转子转速($n_s=1714$, $t_s=0.89$)

图9 满载状态下的电磁转矩

3.2 异步电机空载响应 ($T_n=0\text{ Nm}$)

可以观察到电机空载且在0.736s时转速稳态值是1799.4转。所以当电机经过Z-SOURCE逆变器后速度递增得越来越缓慢。

图10~图13所示为转子空载电流、定子空载电流、空载下的转子转速及空载下电磁转矩的波形。

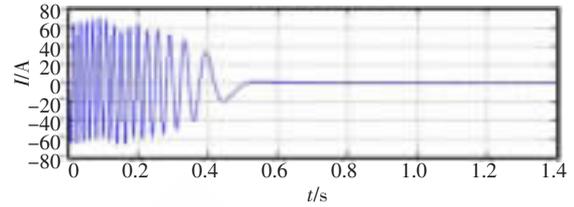


图10 转子空载电流

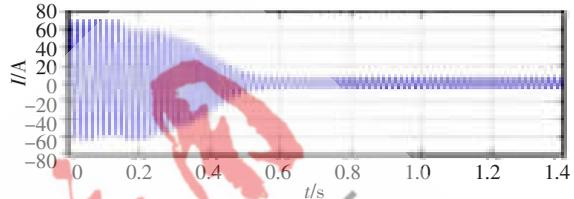


图11 定子空载电流

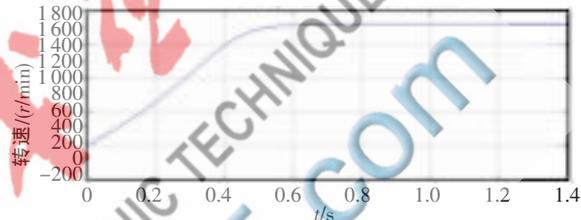


图12 空载下的转子转速

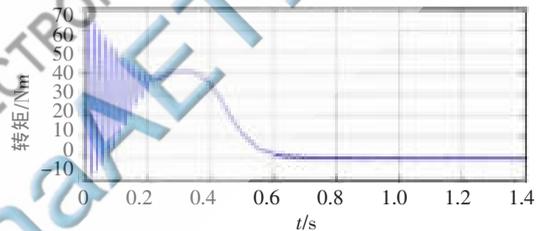


图13 空载下的电磁转矩

本文对三相异步电机Z-SOURCE逆变器进行了分析,并用SIMULINK/MATLAB工具箱进行了模拟。研究了不同工况下三相异步电动机性能参数如转子电流、定子电流、转子速度和电磁转矩。最后得出结论,通过PWM技术驱动三相异步电动机Z-SOURCE逆变器会达到一个满意开环控制结果。

参考文献

- [1] STEFANOVIC V, MILLER J M. Toroidally wound Induction motor-generator with selectable number of poles and vector control; US,6,876,176 B2[P].2005-04-05.
- [2] JIUHE W, HONGREN Y, JINLONG Z, et al. Study on power decoupling control of three phase voltage source PWM rectifiers [C]. Power Electronics and Motion Control Conference, 2006.
- [3] PANA T, STOICUTA O. Controllers tuning for the speed vector control of induction motor drive systems [C]. in Proceeding Int. Conference IEEE AQTR - Cluj-Napoca, 2010:1-6.
- [4] SHEN M, WANG J, JOSEPH A, et al. Maximum constant

- boost control of the Z-source inverter[C]. IEEE Industry Applications Soc. Annu. Meeting, 2004.
- [5] 崔建锋,李永奇,王义琴,等.基于 DSP 的开关磁阻电动机调速系统位置传感器误差补偿[J].沿海企业与科技, 2007, 87(8): 53-55.
- [6] 苏宝平,全力.基于 DSP 的开关磁阻电机无位置传感器控制系统设计[J].计算机测量与控制, 2004, 12(9): 846-

848.

- [7] 许力.智能控制与智能系统[M].北京:机械工业出版社, 2007: 25-81.

(收稿日期: 2011-06-15)

作者简介:

韩础,男,1985年生,在读硕士,主要研究方向:电机控制和传感器技术。

