

Z源逆变器在异步电动机中的应用

朱红,祝龙记,夏若飞

(安徽理工大学电气与信息工程学院,安徽淮南 232001)

[摘要] 近年来,间接磁场定向控制(IFOC)的异步电机驱动由于其效率高、稳定性能强及功率因数高,被广泛应用在高性能驱动系统中。本文采用IFOC技术来控制异步电机的速度大小,并使用Z源逆变器,即在逆变器主电路前加上一对阻抗(LC)网络,通过控制直通占空比,可以实现升/降压功能、提高异步电机的效率。

[关键词] IFOC;异步电机;Z源逆变器

[中图分类号] TM464 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2014)03-0086-06

1 前言

在交流电动机中采用许多高性能的控制方式,如直接转矩控制和磁场定向控制(FOC)。交流电动机的FOC是将定子电流分解成两个分量:电流励磁分量和电流转矩分量,然后对其进行解耦控制,以获得像直流电机一样的特征。磁场定向由于其控制简单、效率和稳定性高、有良好的功率因数等,被广泛应用在交流电动机中。

近年来脉冲宽度调制(PWM)变速驱动由于其性能的优越性被广泛应用到变频调速中,其中使用最广泛的是正弦脉冲宽度调制(SPWM)控制和空间矢量脉宽调制(SVPWM)控制。研究表明,相对于SPWM控制,SVPWM控制可以更有效地利用直流总线电压,产生更少的谐波和失真。近年来提出的Z源逆变器,克服了传统的电压型逆变器和电流型逆变器的不足。传统的电压型逆变器是一个降压型逆变器,如图1所示一个三相电压为220 V的驱动系统,220 V的交流电(AC)通过整流器整流成310 V的直流电(DC)。在线性调制范围内,逆变器最多只能产生190 V的交流电,对于一个220 V的电机而言,逆变输出的低电压大大限制电动机的输出功率(输出功率与电压的平方成正比),因此不满足电机和驱动过大的系统。而Z源逆变器采用独特的

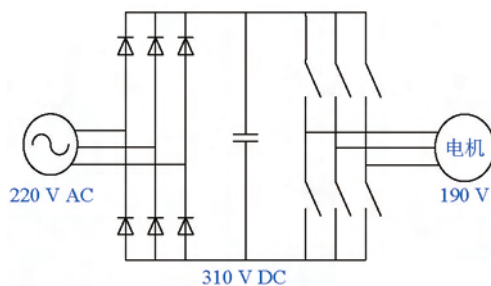


图1 传统的驱动系统

Fig.1 The traditional driving system

Z源网络,又称阻抗(LC)网络连接逆变器主电路和电源(整流器),通过控制直通工作时间从而达到升压功能,通过传统的逆变桥逆变,输出的电压可以实现期望的交流电压值,甚至比线电压更高,可以使电压跌落时不间断工作、降低线路谐波、改善功率因数、增加可靠性、拓宽输出电压范围。

本文采用间接磁场定向控制(IFOC)的异步电机结合SVPWM控制的Z源逆变器来进一步增强感应电机的驱动性能。

2 Z源逆变器

Z源逆变器采用其独特的LC网络(阻抗电感 $L_1=L_2$,阻抗电容 $C_1=C_2$)将逆变主电路、电源、负载或其他转换器连接在一起,具有电压型逆变器和

[收稿日期] 2013-11-15

[作者简介] 朱红,1989年出生,女,安徽合肥市人,硕士研究生,研究方向为电力电子技术及应用;E-mail:2209172952@qq.com

电流型逆变器没有的特性,图2为传统Z源逆变器拓扑。

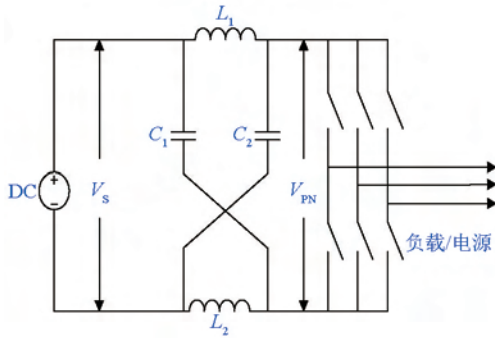


图2 传统Z源逆变器拓扑

Fig.2 The traditional Z-source inverter topology

Z源逆变器有8个开关状态,当外加直流电压流过负载时,传统的三相电压型逆变器有6个有效的开关状态,负载短路时产生上、下两个零矢量状态。当三相Z源逆变器负载终端短路时通过任意一相或两相桥臂或三相桥臂上、下桥臂时,即有特殊零状态。传统电压型逆变器和电流型逆变器中是没有直通零状态的,Z源网络产生的直通零矢量使逆变器有特殊的升/降压特性。Z源逆变器的升压因子为

$$\frac{V_{PN}}{V_s} = B = \frac{1}{1 - 2\frac{T}{T_s}} \geq 1 \quad (1)$$

式(1)中, \$V_{PN}\$ 为直流母线电压; \$V_s\$ 为输入电压; \$T_s\$ 为开关周期; \$T\$ 为直通时间; \$B\$ 为升压因子,大于1。由式(1)可得,只要合理地控制直通时间 \$T\$ 就可以实现Z源逆变器的升压大小。

Z源逆变器的感应电机主电路如图3所示。

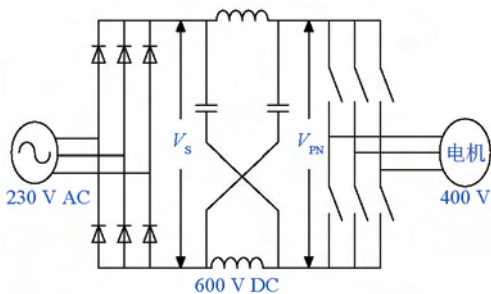


图3 基于Z源逆变器的感应电机主电路

Fig.3 The main circuit of asynchronous motor based on the Z-source inverter

在升压状态下运行Z源逆变器,在一个230 V电机整流后通过Z源网络测得直流链电压上升到600 V左右,在线性调制范围内逆变器产生一个400 V的交流电。

3 间接磁场定向控制

高性能异步(感应)电动机驱动大都采用FOC技术。异步电动机的定子电流是由励磁矢量和转矩矢量的和组成,解耦控制转矩和励磁,就要找出与转矩正交的励磁分量,为此,可以采用两种方式,即直接磁场定向控制(DFOC)和IFOC。在DFOC中,由气隙磁通矢量的位置来计算转子磁通的矢量位置。通过合适的磁通传感器,如霍尔感测器来直接测量或者推导反电动势的整合来计算,但磁通传感器使DFOC成本增大,在低频情况下,无法获得良好的性能,且需要改进电机去放置传感器。而IFOC是通过异步电动机模型的一个简单的表达式来预测转子磁链位置。

图4为异步电机IFOC技术的方框图。为了获得磁场矢量,电机的电流分量应与定子电流分量隔离,这样产生一个通量。IFOC的主要缺点是它是通过扫描电机来估算转子磁链矢量的角位置,因此对电机参数非常敏感。实际上,转子时间常数的不确定会引起定子电流与转子磁通错边,降低整个系统的性能。

4 空间矢量脉宽调制

由于SVPWM控制可以更有效地利用直流总线电压、产生更少的谐波和失真,所以被广泛地应用于三相交流电机的矢量控制中。在三相交流电机中,有8个开关状态,其中有6个有效状态和2个零状态,如图5所示,8个空间矢量可以用一个矢量图来表示。为了生成SVPWM,在高频采样周期及低采样频率周期中采样旋转参考电压空间矢量 \$U_s\$。如图5中的扇区1,是由开关(100)、(110)和零矢量(000)及(111)和 \$U_s\$ 组成。

电压—\$\alpha\$轴的平衡式为

$$|U_1|T_1 + |U_2|T_2 \cos \theta = |U_s|T_s \cos \theta \quad (2)$$

电压—\$\beta\$轴的平衡式为

$$0 + |U_2|T_2 \sin \theta = |U_s|T_s \sin \theta \quad (3)$$

式(2)和式(3)中, \$T_s\$ 是开关周期;三相逆变器的直流电压 \$|U_1|=|U_2|=U_{dc}\$,由式(2)和式(3)可得

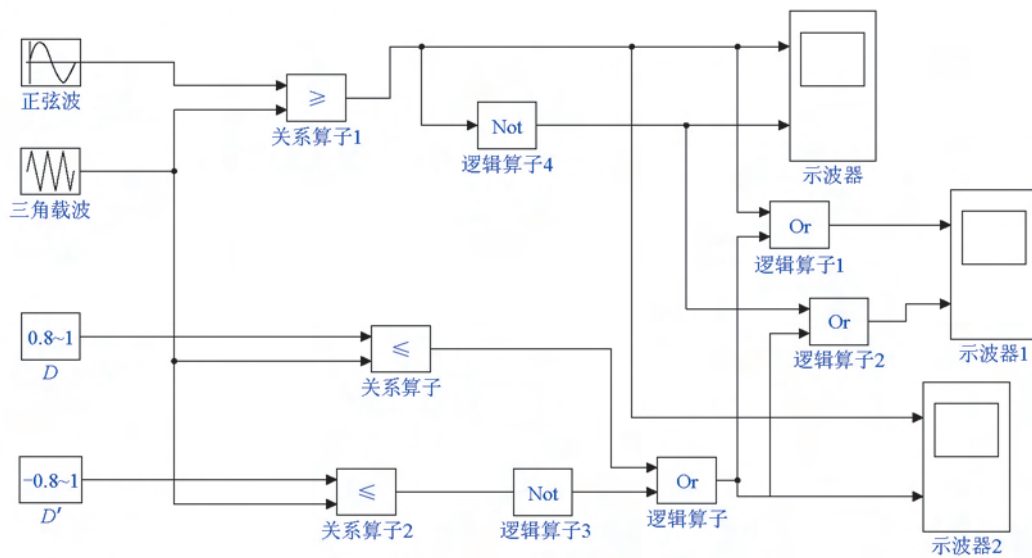


图7 产生直通状态的控制方案
Fig.7 Control scheme of producing direct state

PWM波形。通过控制 D 和 D' 的值就可以控制直通状态时间(D 和 D' 为常量),为了防止短路, D 值不能太小。图8是插入直通状态及未插入直通状态的波形图。图9表示在不同的 D 值下产生的脉冲波形。

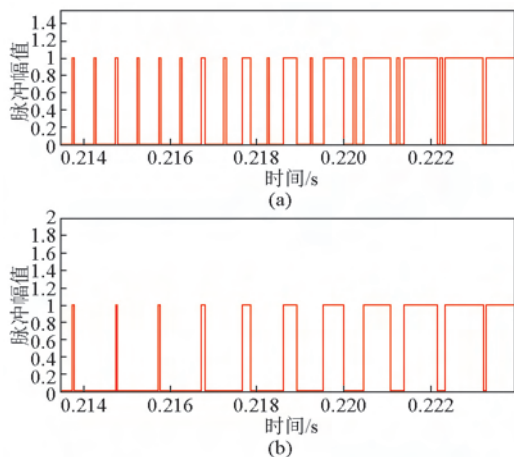


图8 插入直通状态及未插入直通状态的波形
Fig.8 The wave with and without inserting the direct state

6 仿真

为了验证系统理论的正确性,进行仿真实验,仿真参数如下。

- 1)负载:三相400 V、37 kW异步电机。
- 2)Z源网络: $L_1=L_2=5$ mH, $C_1=C_2=1\ 200$ μ F。

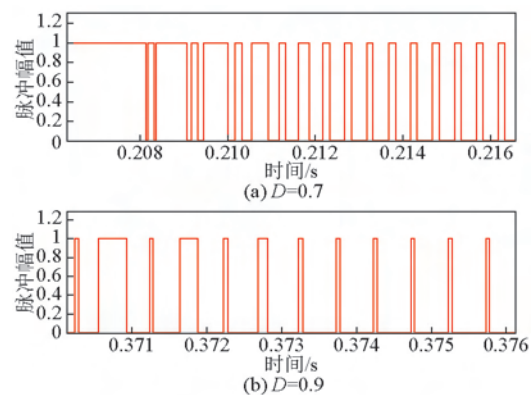


图9 在 $D=0.7$ 和 $D=0.9$ 时,直通状态的波形
Fig.9 The wave of the direct state when $D=0.7$ and $D=0.9$

在Matlab下建立仿真,给定转速为 $n=1\ 400$ r/min。图10为Z源升压图,图11为电机转动时的转速及转矩图(图11a为转速图,图11b为转矩图)。

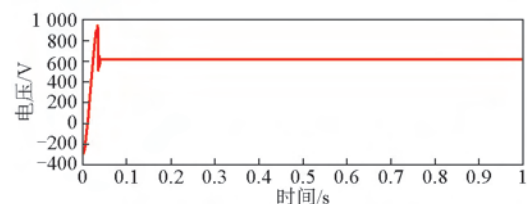


图10 Z源逆变器升压后逆变输出电压
Fig.10 The output voitage of inverter after Z-source inverter boosting

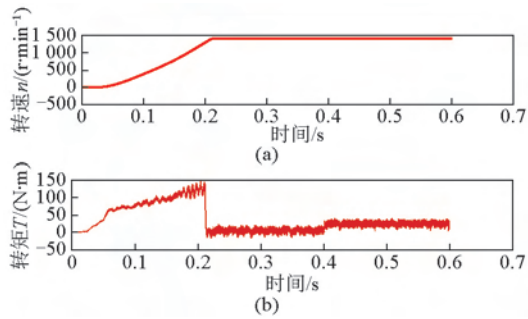


图 11 异步电机的转速与转矩

Fig.11 The rotational speed and torque of asynchronous motor

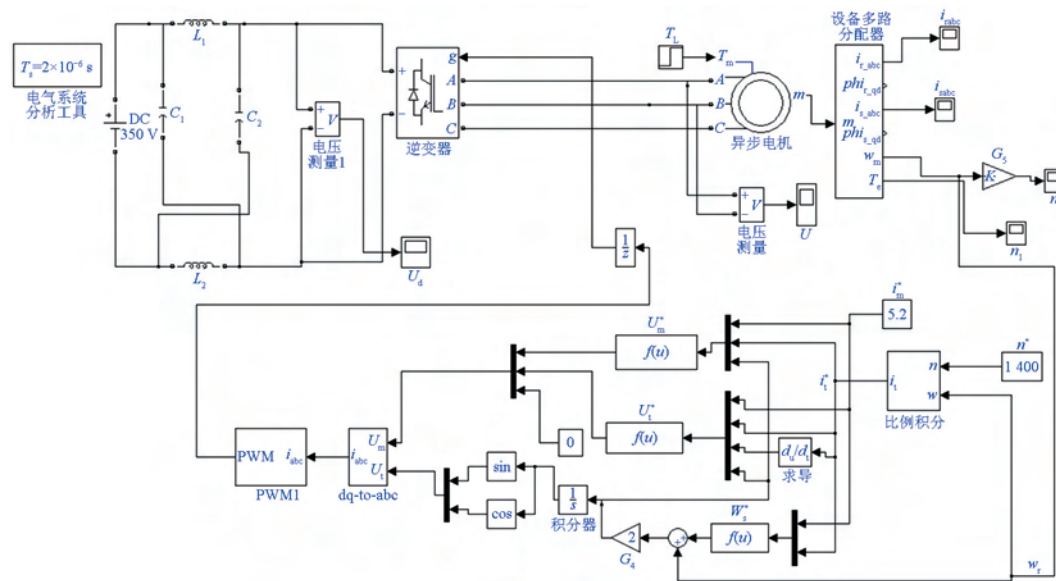


图 12 基于 Z 源逆变器的 IFOC 的异步电机仿真模型

Fig.12 Asynchronous motor simulation model of IFOC based on Z-source inverter

注: C_1, C_2 是电容; L_1, L_2 是电感; $i_q, i_d, i_c, i_c^*, i_m, i_m^*, i_{c,abc}, i_{c,abc}^*$ 是电流; T_L, T_m 是转矩; $\omega_r, \omega_s, \omega_m^*$ 是电机角速度; U_m, U_i, U_m^*, U_i^* 是电压; G_4, G_5 是比例系数; n', n 是转速; dq-to-abc 是两相坐标系转换到三相坐标系

变器的 IFOC 的异步电动机仿真模型,并验证其正确性。结果表明通过 Z 源逆变器结合 IFOC 的异步电动机的驱动系统,实现了感应电机的平滑调速,避免了负载突变对系统的影响,能使系统不间断运行,具有良好的动态性能和抗扰动能力。

参考文献

[1] 张超,于岩,张义君,等. SVPWM 逆变器输出电压谐波分析[J]. 煤矿机械, 2011, 32(6): 115-118.
 [2] Peng Fangzheng, Shen Miaosen, Qian Zhaoming. Maximum boost control of the Z-source inverter[J]. IEEE Trans. on Power Electron., 2005, 20(4): 833-838.
 [3] 张兴,曹仁贤. 太阳能光伏并网发电及其逆变控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.

图 12 为建立的仿真模型。为了方便测量,直接将整流的一部分用一个 350 V 的直流电源代替。异步电机在 0.4 s 加载 20 N·m 负载。

如图 12 所示, Z 源逆变器在交流异步电动机中的应用可使逆变器输出电压增加,可以带动额定电压较大的电动机,且当交流异步电动机突加载载时的动态稳定性较好。

7 结语

在 Matlab/simulink 环境下搭建基于 Z 源逆

[4] 刘凤君. 现代逆变技术及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
 [5] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
 [6] 洪乃刚. 电力电子和电力拖动控制系统的 MATLAB 仿真[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
 [7] 刘军华,李春茂,褚丽丽. 转差率控制的异步电动机调速系统的设计[J]. 电气传动, 2008, 38(5): 22-24.
 [8] 田新全. 基于 DSP 的 Z 源逆变器控制与设计[D]. 安徽: 合肥工业大学, 2007.
 [9] Peng Fangzheng. Z-source inverter[J]. IEEE Trans. on Industry Applications, 2003, 39(2): 504-510.
 [10] Loh P C, Vilathgamuwa D M, Lai Y S, et al. Pulse-width modulation of Z-source inverters[J]. IEEE Trans. on Power Electronics, 2005, 20(6): 1346-1355.

Application of Z-source inverter in the asynchronous motor

Zhu Hong, Zhu Longji, Xia Ruofei

(College of Electrical and Information Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan, Anhui 232001, China)

[Abstract] In recent years, the asynchronous motor drive of indirect field-oriented control (IFOC) is widely used in high performance drive systems because of its high efficiency, high stable performance and power factor. In this paper, the IFOC technology is used to control the size of the speed of asynchronous motor, and the Z-source inverter is used, namely putting a pair of LC network in front of the inverter main circuit, to achieve the function of boost or buck the voltage and improve the efficiency of asynchronous motor by controlling the direct duty ratio.

[Key words] IFOC; asynchronous motor; Z-source inverter

(上接26页)

[Abstract] Both China and Brazil belong to BRICS countries. Their national fundamental situations are very similar. The offshore oil and gas development perspectives are all very broad. Chinese offshore resources are one third of total resources and one quarter of total production. More than 90 % Brazilian oil production is offshore and potential resources in deep water are very huge. The starting points of offshore oil and gas industry of two countries are similar, but the developing speeds are sharply different. China has grasped the shallow water offshore technologies, achieved important progress in deep water field. Brazil implemented continual research plans, the deep/ultra-deep water technologies are internationally advanced, the 2 000 m water depth technology has been grasped comprehensively and marching onto 3 000 m period. China released two mid-long development plans, but there are no specific measurements yet. Brazil has related laws guaranteeing research and development investment, and adheres “local content” (LC) policy all the way and the supporting measurements are strong. Basing on analyzing and comparing offshore oil and gas development of the two countries, three specific suggestions are delivered.

[Key words] China; Brazil; offshore oil and gas; offshore engineering technology; comparison research; suggestions