

文章编号:1003-1251(2008)04-0030-03

基于三电平的直接转矩控制方案

郑天江,王克难,王大志

(沈阳理工大学 信息科学与工程学院,辽宁 沈阳 110168)

摘要:对交流异步电机采用三电平逆变器与直接转矩控制相结合的方案,在保证直接转矩控制精度的同时,针对基于二极管箝位式的三电平结构的方案,采用直接转矩控制算法设计一种采用基于12矢量的相对简单的直接转矩三电平控制方案.仿真结果表明它具有控制简单、响应速度快、转矩控制精度高等特点.该控制方案应用于中高压电机调速系统中具有良好的节能效果.

关键词:三电平;直接转矩控制;逆变器;空间矢量

中图分类号:TP393 **文献标识码:**A

A Direct Torque Control Method Based on Three Level Inverter

ZHENG Tian-jiang, WANG Ke-nan, WANG Da-Zhi

(Shenyang Ligong University, Shenyang 110168, China)

Abstract: The combination of three-level inverter and the direct torque control method is used in induction motor, a simple direct torque control method of twelve vector is designed by use of diode-clamped three-level inverter for high torque control accuracy. The simulation result shows that it has some benefits, such as simple control, fast response, high torque control accuracy. The control scheme can be used in high voltage motor speed control.

Key words: three level; direct torque control; inverter; space vector

中压大功率电机采用中压变频器调速已显示出良好的节能前景,三电平逆变器是一种适用于中压变频器的拓扑结构.直接转矩控制方法是一种与矢量控制相媲美的高性能变频调速方法,其物理过程清晰,并且摒弃了旋转坐标变换在两相静止坐标系下通过控制电机定子电压来控制电机定子磁链的运动轨迹的方法,直接针对电机的转

矩进行快速的控制^[1].本文基于三电平的直接转矩控制方法,提出一种简单的基于三电平的直接转矩控制方法,采用比较简单的控制方式,实现了低谐波分量的高性能的直接转矩控制.

1 三电平结构

基于二极管中点箝位型三电平逆变器的基本拓扑结构如图1所示^[2].

在三电平逆变电路中,每相桥臂上有4个IGBT、2个箝位二极管和4个反向恢复二极管.在运行过程中,始终保证每相桥臂的1、3管互锁,2、4管互锁,即1管导通,3管关断.因此,每相的输出

收稿日期:2008-06-16

作者简介:郑天江(1984—),男,硕士研究生;通讯作者:王大志(1963—),男,教授,博士生导师.研究方向:大功率电力电子技术,风力发电技术,智能控制理论及应用,运动控制,电能质量控制.

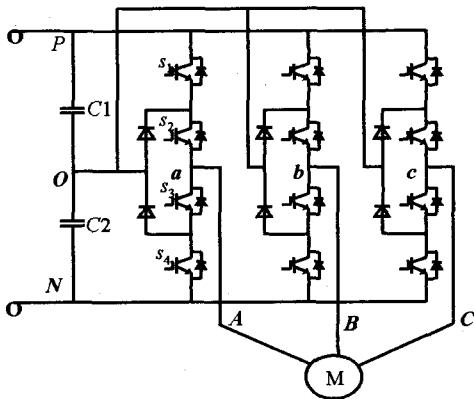


图 1 三电平逆变器电路图

有三种电平。以 A 相桥臂为例，当 S_1 和 S_2 导通时，输出接正母线 P；当 S_2 和 S_3 导通时，输出接零母线 O；当 S_3 和 S_4 导通时，输出接负母线 N。定义每相的开关函数为 $S_i (i = a, b, c)$ ，为三值函数。当某相桥臂的输出接正母线时，对应的开关状态 $S_i = 1$ ；当该相的输出接零母线时，对应的开关状态 $S_i = 0$ ；当该相的输出接负母线时，对应的开关状态 $S_i = -1$ 。因此，对于三电平逆变器来说，每一相可以有三种开关状态。

从拓扑结构来看，每一时刻每相有两个开关器件关断，每个 IGBT 所承受的最大反相压降只有直流侧母线电压的一半。因此，使用同样的开关器件，可以得到比两电平更高的系统容量。另一方面，从控制角度看，三电平逆变电路可以避免上、下桥臂器件同时开通或者关断的情况，即器件不是直接串并联使用。在相同的直流电压下，该拓扑结构比使用器件串联的两电平结构更加可靠。

2 三电平直接转矩控制矢量选择

在二极管箝位三电平逆变电路中，要实现直接转矩控制必须要解决两个问题：一是向量选择问题，二是中点电压平衡问题。

(1) 向量选择

三电平逆变器共有 27 个空间电压矢量，3 个零矢量，6 个冗余短矢量，18 个有效矢量。有效矢量长短不等，对磁链和转矩的影响也不相同，再就是在切换时要避免过高的电压幅值跳变，相电压不允许在电平 1 和 -1 之间直接跳变^[3]。

(2) 中点电压平衡

二极管箝位的三电平逆变器的固有缺点是中

点电压的平衡问题，直流母线上的电容不仅用于滤波，还起分压和支撑作用。由于中点电位浮动，中点电流由电容提供，只要中点电流不为零，中点电压就会相应地发生变化。一般要控制中点电压的波动不超过直流母线的 5%，否则开关管上承受反压比原来的高 10%，再加上开关管动作引起的尖峰电压，使开关的耐压裕度大幅减少^[3]。

三电平的每相都有三个电平状态 +1、0 和 -1，这样，三相系统中就有 27 个组合状态。若假定三电平的直流电容电压保持上下平衡，可得出图 2 所示的三电平三相变流器的空间矢量图。

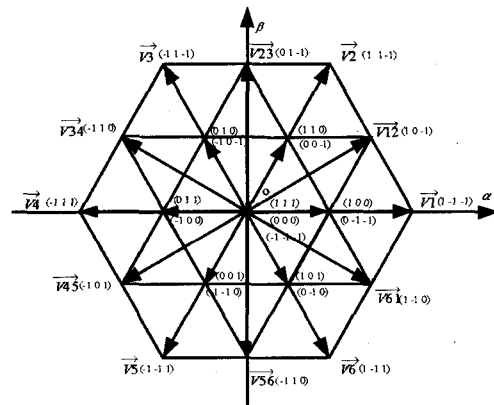


图 2 三电平 PWM 变流器的开关矢量分布图

在图 2 中，+1、0、-1 分别表示交流侧电压为正、零和负电平，而矢量号码 +1、0、-1 表示 a、b、c 三相的相电压分别为正、零和负电平。

按照各个矢量的幅值大小，可以按照从小到大的原则分成四组，即零电压矢量、小电压矢量、中电压矢量和 大电压矢量四种。其中，小矢量和中矢量会对直流电容电压产生不平衡现象。

选用 6 个中矢量和 6 个大矢量共 12 个可用的矢量作为基本矢量来控制 PWM 波的生成。同时考虑了中矢量引起的电压波动问题，采用的矢量表如表 1 所示。

表 1 开关矢量表

扇区	电压增加	电压减少	其它形式
1	0 1 -1	-1 1 -1	0 0 0
2	-1 1 -1	-1 1 0	0 0 0
3	-1 1 0	-1 1 1	0 0 0
4	-1 1 1	-1 0 1	0 0 0
5	-1 0 1	-1 -1 1	0 0 0
6	-1 -1 1	0 -1 1	0 0 0
7	0 -1 1	1 -1 1	0 0 0
8	1 0 1	1 -1 0	0 0 0
9	1 -1 0	1 -1 -1	0 0 0
10	1 -1 1	1 0 -1	0 0 0
11	1 -1 -1	1 1 -1	0 0 0
12	1 1 -1	0 1 -1	0 0 0

3 直接转矩控制方案

交流异步电机电磁转矩的产生可以理解定为定子磁链矢量和转子磁链矢量的乘积. 如下式

$$T_e = \frac{3n_p L_m}{2\sigma L_s L_r} \vec{\psi}_s \times \vec{\psi}_r$$

式中: n_p, L_m, L_s, L_r 分别为电机的极对数; 定子与转子的互感; 定子的自感; 转子的自感; σ 为异步电机的漏感系数;

$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r}$; $\vec{\psi}_s$ 为定子的磁链; $\vec{\psi}_r$ 为转子的磁链.

当电机参数近似不变时, 电磁转矩 T_e 正比于定子磁链 $\vec{\psi}_s$ 与转子磁链 $\vec{\psi}_r$ 的向量积, 在定子转子磁链幅值不变的情况下, 转矩可直接由转差角 θ_{sr}

的正弦值乘以一个常数 K 来确定, 即转矩公式可写成

$$T_e = K \sin \theta_{sr}$$

由于交流异步电动机的转子电气时间常数一般都较大, 因此转子磁链相对于定子磁链而言, 变化较缓慢. 因此, 在保持定子磁链幅值恒定的基础上, 可以调节定子和转子磁链之间的夹角来控制转矩. 即快速调节 θ_{sr} 的变化, 从而通过调整定子磁链在空间的旋转速度以控制转矩, 进而控制电机的转速, 这就是直接转矩控制的基本思想^[4].

图 3 为基于三电平逆变器的直接转矩控制方案的系统框图. 图中采用三电平结构作为逆变单元, 其中转速给定单元通过 PI 调节器形成转矩给定量, 转矩信号和磁链信号采用 bang-bang 控制, 并且通过采集定子电压和电流量来估算定子的磁链状态.

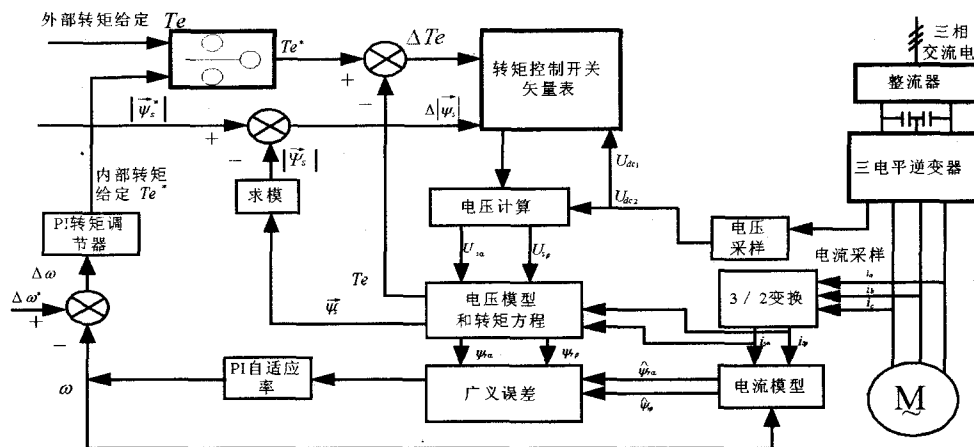
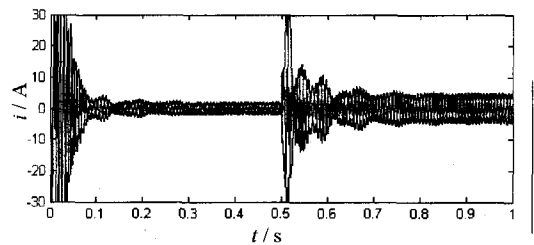


图 3 直接转矩三电平控制方案系统框图

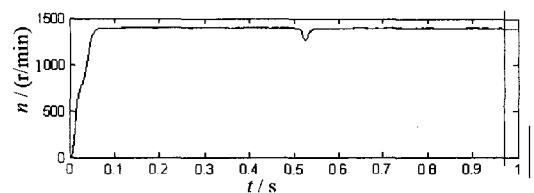
4 仿真结果

采用电机参数为 4kW, 400V, 50Hz. 定子电阻为 1.405Ω, 定子电感为 0.005 839H, 转子电阻为 1.395Ω, 转子电感为 0.005 839 H, 互感 0.172 2H, 极对数为 2 的电机, 对本系统进行仿真. 在 0.5s 时加负载转矩, 其仿真结果如图 4 所示.

仿真结果可以看出, 电机启动时的电流和波动较大. 但是, 当电机达到给定转速时, 电机的转速和转矩立即稳定在给定值. 因此, 它的动态响应效果很好. 从三电平的电压波形可以看出, 电压开关波形更接近正弦波, 电压的谐波分量小.



(a) 电流波形



(b) 转速波形

(下转第 94 页)

了在试样中加入标准样品钴 1 μg , 镍 5 μg 的加标回收率实验和原子吸收法对照实验. 结果如表 1 所示.

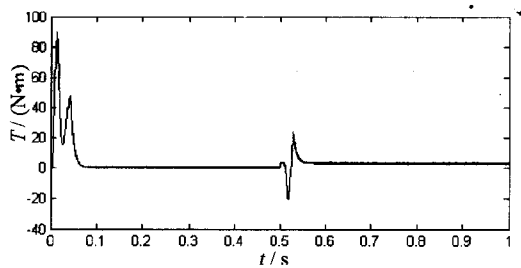
表 1 样品测定结果				%
元素	测得含量 $n = 5$	回收率 $n = 5$	原子吸收测定结果	RSD
Ni	27.18	101.20	26.25	2.27
Co	2.37	98.88	2.55	3.89

参考文献:

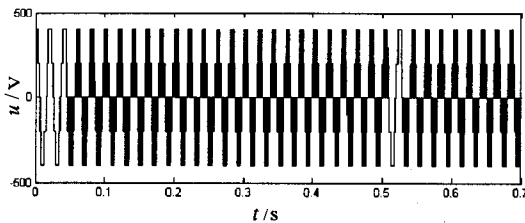
[1] 朱霞石, 郭荣, 戚文彬. 微乳液增效作用机理探讨-显色剂在微乳液中的分配系数[J]. 分析化学, 1995, 23(9): 989-992.

[2] 高俊杰, 余萍, 苏会东, 等. 阴离子型微乳液对火焰原子吸收测铅增敏作用的研究与应用[J]. 光谱学与光谱分析, 2000, 20(3): 388-389.
 [3] 张丽静, 解成喜, 钱秀英, 等. 非离子型微乳液存在下 5-Br-PADAP 光度法测定微量 Co(II) 的研究[J]. 新疆大学学报, 2000, 17(3): 47-49.
 [4] 夏心泉, 赵书林, 王秀云, 等. 微乳液的增敏作用研究-Ni(II)-5-Br-PADAP 的分光光度法测定[J]. 分析实验室, 1996, 15(5): 36-38.
 [5] 高俊杰, 余萍, 张东. 微乳液增敏双波长光度法同时测定铜和铬[J]. 冶金分析, 2004, 24(4): 13-16.

(上接第 32 页)



(c) 转矩波形



(d) 线电压波形

图 4 基于三电平的直接转矩控制方案仿真结果

由于系统只采用了 12 个有效矢量, 对于系统的控制器设计, 相对来说简单易行. 从图 4b 中可以看出, 系统转速的动态过渡过程很快.

5 结论

该系统能很好地调节转速和转矩, 并且形成三电平的电压波形, 当给定合适的转速时, 能够实时响应给定的转速, 而且响应速度相当快. 因此, 该三电平直接转矩控制系统, 不仅解决了电力电子器件耐压度问题, 降低了定子输入电压的谐波, 而且具有很高的动态转矩和转速控制精度.

参考文献:

[1] 刘凤君. 多电平逆变技术及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
 [2] 李永东, 肖曦, 高跃. 大容量多电平变频器-原理·控制·应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
 [3] 赵莉. 基于三电平逆变器的直接转矩控制[D]. 北京: 中国科学院电工研究所, 2005.
 [4] 姬志艳. 异步电机直接转矩控制系统的研究[D]. 北京: 清华大学, 1995.
 [5] Lee Kyo-Beu, Song Joong-Ho. Improvement of Low-Speed Operation Performance of DTC for Three-Level Inverter-Fed Induction Motors [J]. IEEE Transactions on Industrial electronics, 2001, 48(5): 1006-1014.