

文章编号:1671-251X(2009)07-0055-04

# 新型驱动与保护电路在级联逆变器中的应用研究 \*

臧义, 王伟生, 孙红鸽, 曹毅

(河南工业大学电气工程学院, 河南 郑州 450007)

**摘要:**级联逆变器中功率单元的驱动及保护通常采用分立驱动器件构成 H 桥的驱动及保护电路, 由于各器件参数很难保证完全一致, 导致电路工作不理想, 且需要多个独立供电的电源, 增加了系统设计的复杂性。针对上述问题, 文章采用一种新型驱动与保护电路 TX - DA841HD 设计了单元级联型高压逆变器模型。该电路可同时驱动 4 个大功率 IGBT, 能够监视每个 IGBT 的集电极电流, 具有缓降栅压结合软关断技术的短路保护功能, 能够有效地保护 H 桥及级联系统。实验结果验证了该电路的驱动及保护能力。

**关键词:**级联 H 桥; 驱动电路; 单元故障; 保护

**中图分类号:**TM921/464      **文献标识码:**A

## 0 引言

近年来多电平功率变换技术是高压大功率应用领域研究的热点问题。采用该技术避免了高频开关器件的直接串联, 并且随着电平数的增加, 高次谐波含量大幅减少。在已提出的多电平电路中, 级联(H 桥单元串联)型拓扑因结构和控制方法易于向更多电平数及更高电压等级扩展, 且具有较好的容错性能, 已成为最受关注的多电平电路形式, 目前仍在不断发展之中, 很多问题尚未解决<sup>[1~3]</sup>。其中, 功率单元的驱动及保护问题不容忽视, 通常采用分立驱动器件构成 H 桥的驱动及保护电路, 由于各器件参数很难保证完全一致, 因此, 可能导致电路工作不理想, 且需要多个独立供电的电源, 增加了系统设计的复杂性。针对 H 桥的驱动及保护, 本文采用一种新型的驱动与保护电路 TX - DA841HD。该电路可同时驱动 4 个大功率 IGBT, 具有缓降栅压结合软关断技术的短路保护功能, 在检测到单元内部 IGBT 过流后能够快速地封锁该单元的 PWM(脉宽调制)信号, 使该单元退出级联系统, 从而有效地保护级联系统。对采用该电路设计的单元串联型逆变器进行了仿真实验, 实验结果验证了该电路的可靠性。

收稿日期: 2009-03-03

\* 基金项目: 河南省教育厅科研资助项目(2009A470001), 河南工业大学高层次人才科研基金项目(2007BS055)

作者简介: 臧义(1980-), 男, 河南信阳人, 博士, 讲师, 主要研究方向为电力电子技术。E-mail: zangyi@126.com

## 1 级联逆变器的电路结构及故障控制方法

### 1.1 主电路结构

图 1 为级联型多电平逆变器的电路结构示意图, 每相均由多个功率单元输出串联组成。功率单元主电路结构是一个典型的三相输入、单相输出的交-直-交电压型单相全桥逆变器, 又称 H 桥逆变器, 如图 2 所示。

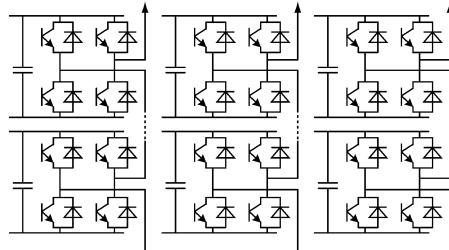


图 1 级联型多电平逆变器的电路结构示意图

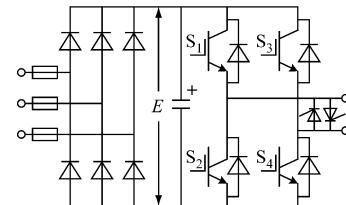


图 2 功率单元主电路图

在该结构下, 通过对逆变桥进行 PWM 控制, 可使 2 个桥臂的中点之间输出频率和幅值可变的交流电压。如图 2 所示, 通过 4 个开关器件 S<sub>1</sub> ~ S<sub>4</sub> 的开关组合, 每个单元都可获得三电平的输出 — + E、0、- E, 其中, E 为直流环节上的电容电压。每个全桥逆变器的输出均串联在一起, 合成逆变器的输出电压波形。级联 H 桥多电平逆变器采用若干个

低压逆变单元串联的方式实现直接高压输出,因此,不存在功率器件直接串联引起的均压问题。

级联型逆变器最常用的调制方法是载波相移 SPWM 方法。每个单元的驱动信号由 1 个正弦波和相位互差 180° 的 2 个三角载波比较生成;同一相的级联单元之间正弦参考波相同,而三角载波互差  $180^\circ / N$  ( $N$  为每相单元数),系统输出谐波次数增大到  $2N$  倍,更易于滤除。通过载波移相使各单元输出电压脉冲在相位上相互错开,可叠加出多电平波形,输出得到优化。图 3 为采用该调制方法的 6 单元级联 H 桥逆变器输出的相电压波形。从图 3 可看出,通过单元输出波形的叠加,系统输出的电压已经十分接近正弦波。

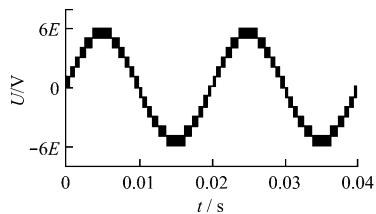


图 3 6 单元级联 H 桥逆变器输出的相电压波形

## 1.2 单元故障后的控制方法

当检测到某个单元发生故障时,一种最简单的措施是将该故障单元旁路。功率单元旁路技术就是在每个功率单元输出端之间并联 1 个开关,当功率单元发生故障时封锁对应功率单元 IGBT 的触发信号,然后使输出短路开关闭合,保证电路电流能流过,仍形成通路,从而保证整个系统继续运行。当然,当级联型逆变器的某个单元被旁路时,输出电压将变得不平衡。为了使电动机获得三相对称电压,必须采取一定的措施克服电压不平衡问题<sup>[4~6]</sup>,本文仅对基本的处理方法进行分析。

为了保证三相输出电压对称,在旁路故障功率单元的同时,旁路另外两相对应的 2 个功率单元。对于每相由 5 个功率单元串联而成的级联型逆变器,当每相 1 个功率单元被旁路后,则每相剩下 4 个功率单元,输出最高电压为额定电压的  $4/5$ ,输出电流仍可达到 100%,这样,输出功率仍可达 80% 左右,对于风机、水泵等平方转矩负载而言,转速仍可达 92% 以上,基本能维持生产要求,大大提高了系统运行的可靠性<sup>[3]</sup>。为了验证旁路的可行性,对功率单元故障情况进行仿真,采用基本的屏蔽故障功率单元的处理方式,输出电压波形如图 4 所示。

从图 4 可看出,旁路后系统输出电压的电平数减少,高次谐波成分有所增加,但波形仍十分接近正

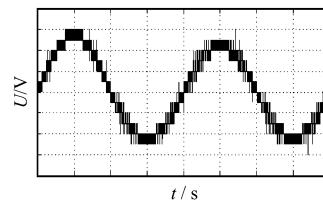


图 4 故障功率单元旁路后输出的电压波形  
弦,可维持系统继续工作。

对于单个 H 桥,为了防止直流侧发生短路,同一桥臂的 2 个 IGBT 不能同时导通,因而在控制 IGBT 的 PWM 触发信号中, $S_1$  和  $S_2$  的触发信号相反, $S_3$  和  $S_4$  的触发信号相反。H 桥逆变单元的输出电压  $U$  与  $S_1 \sim S_4$  的开关状态有关,如表 1 所示(表 1 中,1 表示导通,0 表示关断),每个单元都可以获得三电平的输出,波形见图 3,其中  $E$  为滤波电容上的电压,为  $S_1$  和  $S_4$  的触发信号。

表 1 H 桥逆变单元的输出电压与 4 个 IGBT 的开关状态关系表

| 逆变单元输出电压 | IGBT 的开关状态 |       |       |       |
|----------|------------|-------|-------|-------|
|          | $S_1$      | $S_2$ | $S_3$ | $S_4$ |
| $+ E$    | 1          | 0     | 0     | 1     |
| 0        | 1          | 0     | 1     | 0     |
| 0        | 0          | 1     | 0     | 1     |
| $- E$    | 0          | 1     | 1     | 0     |

## 2 功率单元的驱动与保护电路

### 2.1 电路特点

本文采用的驱动与保护电路 TX - DA841 HD 可同时驱动 4 个 300 A/1 200 V (600 A/600 V) IGBT, 最高工作频率达 60 kHz; 集成隔离电源, 采用 15 V 单输入直流供电, 具有过压及欠压保护功能; 驱动及保护部分兼容 3.3/5 V 和 12/15 V 主控系统; 可工作在普通全桥模式或无死区控制全桥模式下; IGBT 的短路阈值、保护盲区时间、软关断的时间等参数可灵活设置; 短路时软关断保护, PWM 信号封锁, 有正、负 2 个故障信号输出可供选择。

### 2.2 电路结构及工作原理

驱动与保护电路结构如图 5 所示。输入部分为双路 PWM 及对应控制电源信号, 经独立或互锁设定单元确定电路工作模式, 可设定为普通全桥模式或无死区控制全桥模式。应用普通全桥模式时, 上、下两管信号互锁, 用户可以设置死区时间, 确保不直通; 应用无死区全桥模式时, 上、下两管可以同时导通, 因此, 可用于电流型全桥电路的驱动。通过

DC/DC辅助开关电源,可得到4路相互独立的24 V电压输出,用于4片驱动芯片的供电。与传统的4路变压器隔离供电相比,该驱动与保护电路减小了体积,节省了成本,且使用更加方便。当主控板电源电压为15 V供电时,可与之使用同一电源。

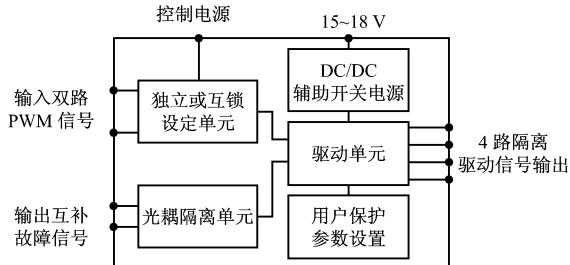


图5 驱动与保护电路结构框图

驱动单元输出4路隔离驱动信号,用于驱动IGBT,同时对IGBT起保护作用。当IGBT的电流过大、集电极对发射极的电压达到阈值电压时,驱动与保护电路启动内部的保护机制。由于各种尖峰干扰的存在,为避免频繁的保护影响开关电源的正常工作,有必要设立盲区;当过流信号时间大于设定的盲区时间时,开始软关断。软关断开始后,驱动器封锁输入PWM信号,即使PWM信号变为低电平,也不会立即将输出拉到正常的负电平,而要将软关断过程进行到底。软关断开始后经过短暂延迟,驱动板经光耦隔离单元输出互补的故障报警信号,由主控板处理。IGBT的短路保护动作阈值、保护盲区时间、软关断时间等参数可通过用户保护参数设置单元灵活设置,也可以使用默认值。

图6为驱动与保护电路的实际应用连接图。该电路仅需几路基本线路连接即可工作,特别适合于H桥单元的驱动及保护。本设计采用普通全桥模式,保护参数设置均采用默认值。当检测到单元内部出现故障时,利用故障输出信号首先封锁逆变单元的驱动信号,然后控制单元输出端的短路开关。

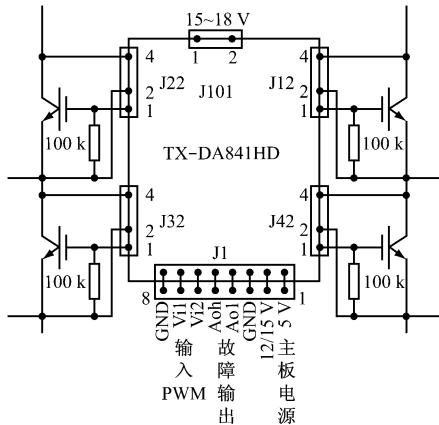
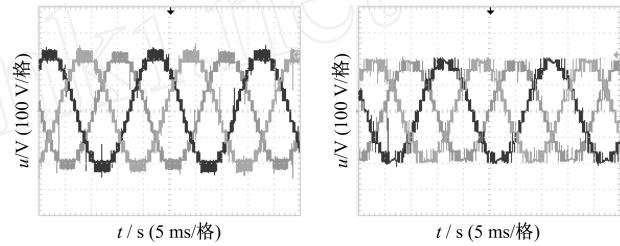


图6 驱动与保护电路的实际应用连接图

### 3 仿真实验

利用上述电路设计级联逆变器的原理样机并进行相关实验。主电路采用6单元串联的形式,采用载波相移SPWM控制方式,功率单元的驱动与保护电路采用TX-DA841HD。实验参数设置:频率 $f_s=50$  Hz,幅度调制比 $M=0.9$ ,载波调制比 $k_c=15$ ,此时每个IGBT的开关频率仅为 $k_c \times f_s = 450$  Hz,而等效频率接近6 kHz,产生的高次谐波更易滤除。实验输出三相电压波形如图7(a)所示,正常工作时相电压波形由十三电平构成,十分接近正弦,总谐波畸变很小。故障后的相电压波形如图7(b)所示。与正常输出相比,故障后输出电压电平数减小,输出谐波成分有所增加,但总体波形仍十分接近正弦波,不影响级联逆变器的运行,因此,在比较重要的场合能够保证级联逆变器的连续运转,提高了级联逆变器的可靠性。



(a) 正常工作时相电压波形 (b) 一单元故障后相电压波形  
图7 级联逆变器某个单元故障前、后的输出波形

### 4 结语

本文采用一种新型的H桥驱动与保护电路TX-DA841HD对级联逆变器中的功率单元进行驱动与保护。与采用分立器件设计的驱动与保护电路相比,该电路驱动能力强,结构及连线简单,保护功能完善,能够有效地处理级联逆变器的单元故障,提高了级联逆变器工作的可靠性,是单元级联型逆变器理想的驱动及保护电路。

### 参考文献:

- [1] 竺伟,陈伯时.单元串联式多电平高压变频器的起源、现状和展望[J].电气传动,2006,36(6):3~7.
- [2] 张坤鳌.DSP在级联多电平中压变频器中应用研究[J].电力电子技术,2007,41(9):74~76.
- [3] 徐彬.级联H桥多电平变频调速系统的设计与研究[D].沈阳:东北大学,2005.
- [4] 卫三民,刘丛伟,孙旭东,等.串联H桥多电平变频器单元故障时的控制方法[J].清华大学学报:自然科学

文章编号:1671-251X(2009)07-0058-03

# 永磁直线同步电动机的 IGA 优化设计 \*

王福忠<sup>1,2</sup>, 刘 静<sup>1</sup>, 李丙全<sup>3</sup>, 袁世鹰<sup>1,2</sup>

- (1. 河南理工大学电气工程与自动化学院,河南 焦作 454000;  
2. 中国矿业大学(北京)机电与信息工程学院,北京 100083;  
3. 河南工程技术学校机电工程系,河南 焦作 454000)

**摘要:**永磁直线同步电动机在远距离、大推力应用场合中需要的中枢绕组和永磁体多,系统造价较高。针对该问题,文章以经济指标为目标,采用自适应参数调整和适应值定标相结合的改进遗传算法,通过选取优化变量、确定约束条件及目标函数,实现了永磁直线同步电动机的优化设计。对优化前后的电动机各性能指标进行分析比较后得出,该优化方法能够改善电动机的综合性能指标,提高电动机的推力,减小电动机的体积,从而降低了电动机的制造成本。

**关键词:**永磁直线同步电动机; 优化设计; 经济指标; 改进遗传算法; IGA

**中图分类号:**TD614.2; TM351      **文献标识码:**A

## IGA Optimization Design of Permanent Magnet Linear Synchronous Motor

WANG Fu-zhong<sup>1,2</sup>, LIU Jing<sup>1</sup>, LI Bing-quan<sup>3</sup>, YUAN Shi-ying<sup>1,2</sup>

- (1. School of Electrical Engineering and Automation of Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China.  
2. Shool of Mechanical Electronic and Information Engineering of CUMT. (Beijing), Beijing 100083, China.  
3. Dept. of Mechanical and Electric Engineering of Henan Engineering School, Jiaozuo 454000, China)

**Abstract:** Cost of permanent magnet linear synchronous motor is high in application situations of long distance and large thrust because it needs many central windings and permanent magnets. Aiming at the problem, the paper took economy index as target, adopted improved genetic algorithm which was combined with adaptive parameter adjusting and adaptive value calibration, and realized optimization design of permanent magnet linear synchronous motor through selecting optimization variable and determining constraint condition and objective function. After analyzing and comparing each performance index of motor before and after being optimized, it was gotten that the optimization method can improve comprehensive performance index of motor, enhance its thrust and decrease its volume, so as to reduce product cost of motor.

**Key words:** permanent magnet linear synchronous motor, optimization design, economy index, improved genetic algorithm, IGA

收稿日期:2009-03-18

\*基金项目:国家自然科学基金项目(60374034),河南省自然科学基金项目(0211060500),河南省教育厅科学技术研究项目(200510460016)

作者简介:王福忠(1961-),男,教授,现主要从事现代交流传动、矿山电气传动、工业过程微机控制等方面的教学与研究工作。  
E-mail:yoyo831224@126.com

## 0 引言

永磁直线同步电动机结构简单、效率高、行程和推力体积比大,是直接驱动直线伺服系统的首选电动机类型之一<sup>[1]</sup>。为了避免供电线路被移动,其动

- 版,2003,43(3):369~372.  
[5] 王 旭,臧 义,徐 彬,等.基于开关管的级联 H 桥逆变器故障处理方法[J].中国电机工程学报,2007,27(7):76~81.

- [6] RODRIGUEZ J, HAMMOND P W. Operation of a Medium Voltage Drive under Faulty Conditions [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2005, 52(4): 1 080~1 085.