

# IGBT 驱动器在高压电机调速系统中的应用研究

姚 锐<sup>1</sup>, 王兵树<sup>1,2</sup>, 李 娜<sup>3</sup>

(1. 华北电力大学 自动化系, 河北 保定 071003;

2. 保定华仿电控有限公司, 河北 保定 071000;

3. 西安供电局, 陕西 西安 710000)

**摘要:** 介绍了一种以智能门极驱动模块 IGD515E 为核心的 IGBT 驱动电路在斩波式内反馈串级调速系统中的典型应用, 包括内反馈串级调速系统的工作原理、IGBT 斩波器驱动电路参数选择和计算方法。通过实验验证, 实际中的驱动电压波形及斩波器工作波形都表明, 本文所设计的驱动电路工作稳定, 具有优良的驱动和保护性能。

**关键词:** 斩波串级调速; IGBT; IGD515E; 驱动电路; 电路设计; 参数选择

中图分类号: TM573

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)15-0025-04

## Study on application of IGBT driver in high voltage electrical machine speed regulation system

YAO Rui<sup>1</sup>, WANG Bing Shu<sup>1,2</sup>, LI Na<sup>3</sup>

(1. Department of Automation, North China Electric Power University, Baoding 071003, China;

2. Sinoecon Corporation Limited, Baoding 071000, China;

3. Xi'an Power Supply Bureau, Xi'an 710000, China)

**Abstract:** This paper introduced the typical application of an IGBT driving circuit in chopper internal-feedback cascade speed regulation system, the core of the drive circuit is an intelligent gate driver module IGD515E. The paper included the principle of chopper internal-feedback cascade speed regulation system and the selection and calculation of driving parameters for the drive circuit. The actual drive output voltage waveform and the chopper working waveform showed that the drive circuit designed in the paper works reliably with excellent drive and protection performance.

**Key words:** chopper cascade speed regulation; IGBT; IGD515E; driving circuit; circuit design; parameters selection

目前, 斩波式内反馈串级调速技术主要用于高压大中型电动机的节能调速中, 例如风机与泵类负载的节能调速。它是在转子直流回路中加入 IGBT 斩波器, 转速的改变是通过调节 IGBT 斩波开关的占空比即导通时间来实现, 而不用调节逆变角, 因此而提高系统的功率因数, 这是斩波控制的主要优点<sup>[1]</sup>。其中作为斩波器的主要元件——绝缘栅双极晶体管 IGBT 是一种由双极型晶体管 BJT (Bipolar Junction Transistor) 和 MOSFET 组合而成的新型复合电压控制电力电子器件, 通过控制 IGBT 栅极的电压就可以控制其开通和关断, 从而实现电机转速的改变<sup>[2]</sup>。性能良好的驱动电路可使 IGBT 工作在比较理想的开关状态, 可缩短开关时间, 减少开关损耗, 对整

个系统的运行效率、可靠性和安全性都有着重要意义。而决定驱动电路性能的驱动参数的选择就对整个斩波式内反馈串级调速系统的性能有着很大的影响<sup>[2-3]</sup>。为此, 本文重点研究了基于 IGD515E 的 IGBT 驱动电路的设计和驱动参数的选择。

### 1 斩波式内反馈串级调速系统

斩波式串级调速系统是在传统移相控制串级调速系统的直流回路中加入一个定频调压的直流斩波回路, 将逆变器的移相角固定在最小逆变角, 利用直流斩波器的通断时间的变化来改变电动机的转速<sup>[4]</sup>。图 1 为斩波式内反馈串级调速系统电路图, 直流回路连接的斩波环节采用 IGBT 斩波器。通过改变斩波器的占空比  $\tau$  来改

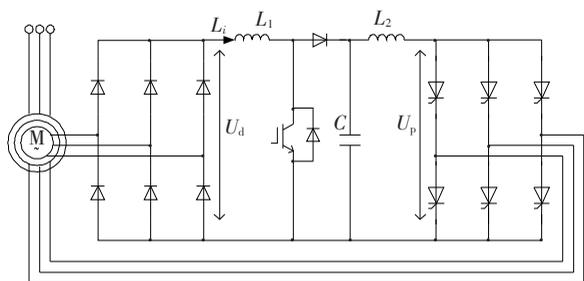


图1 斩波式内反馈串级调速系统电路图

变斩波器的输出电压,即通过改变串入转子的附加电势来改变电动机的转速,实现对电机的调速。

## 2 IGD515E 驱动器外围电路设计及参数计算

采用 IGD515E 的驱动电路在斩波式内反馈串级调速系统中应用时的外围电路的元件连接如图 2 所示<sup>[5-7]</sup>。

### 2.1 工作模式设定

通过对 SDOSA 引脚电平的定义,可以选择工作模式,并直接影响保护电路的工作逻辑。本系统将 SDOSA 引脚悬空,设定驱动器工作模式为通用模式,这适合于单驱动器件独立工作(引脚连接见图 2)。当 IGBT 出现过流故障时,无论输入的 PWM 信号是否还在作用,驱动模块都立即将其关断,同时 SO 向控制电路报告故障信息。

输入信号的取反端子 INV 和 IGND 端子相连,这样对 INPUT 端不起反相作用。

### 2.2 门极驱动限流电阻 $R_g$ 的选取

用于设置开关速度的门极驱动限流电阻  $R_g$  的选取参照了 DYNEX 公司的 DIM1600FSS12-A000 模块使用手册<sup>[8-9]</sup>的推荐值,即:

$$R_{g(on)}=R_{g(off)}=1.5 \Omega \quad (1)$$

另外,门极和发射极之间必须有反串的齐纳二极管(稳压二极管)连接,它们的击穿电压必须与选择的门极电压(12 V~15 V)相符合。

为了防止由于寄生效应(如米勒效应)引起门极电压高出额定值,而门极过电压使得短路电流高出额定值从而导致 IGBT 的损坏,在本系统中,选择了 2 个 15 V 的

稳压二极管。

### 2.3 监测电路(短路与过流保护电路)设计及参数计算

IGBT 的集电极电压  $V_{ce}$  和集电极电流  $I_c$  近似成正比关系,IGD515E 采用检测 IGBT 集电极饱和电压  $V_{ce(sat)}$  来判断 IGBT 是否过流或短路。具体电路原理如图 3 所示。

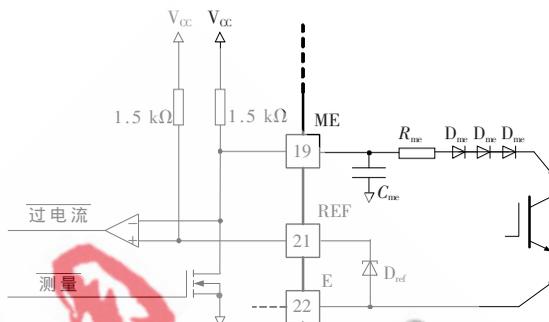


图3 过流与短路保护原理图( $V_{ce}$  监测原理图)

集成在驱动模块中的保护电路包括 1 个比较器和 2 个上拉电阻,其中 1 个上拉电阻用于保证在 IGBT 开通时,电流流过 3 个 1N4007 型测量二极管  $D_{me}$ 、分压电阻  $R_{me}$  和 IGBT。IGBT 导通的正向偏置电压加上二极管正向导通压降再加上  $R_{me}$  上的压降之和作为 ME 端的输入电压。电阻  $R_{me}$  削弱了  $D_{me}$  的逆向峰值电流,其推荐值为 68  $\Omega$ 。

当 IGBT 导通时,集电极电压降低,MOSFET 截止,此时比较器反相端电位为:

$$V_{-}=V_{R_{me}}+V_{D_{me}}+V_{ce} \quad (2)$$

式中,  $V_{R_{me}}$  为分压电阻  $R_{me}$  上的压降,  $V_{D_{me}}$  为测量二极管  $D_{me}$  上的压降。

当 IGBT 截止时,MOSFET 导通,此时比较器反相端电位为:

$$V_{-}=0 \text{ V} \quad (3)$$

而同相端电位由稳压二极管  $D_{ref}$  确定,即:

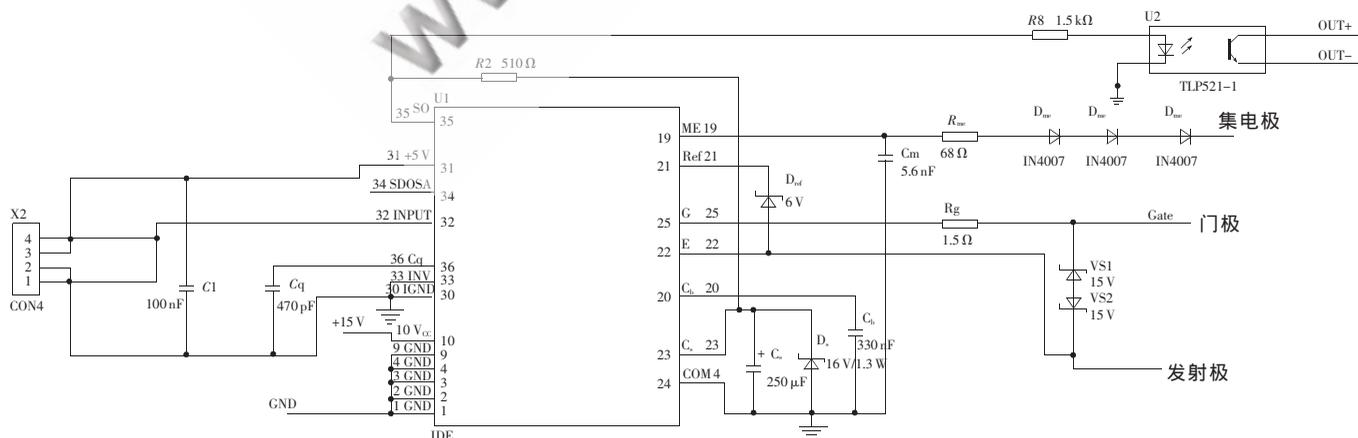


图2 驱动 IGBT 外围电路图

$$V_s = V_{ref} \quad (4)$$

式中,  $V_{ref}$  为稳压二极管  $D_{ref}$  的稳压值。

当 IGBT 过流或短路时, 集电极电压  $V_{ce}$  上升, 使比较器反相端的电位也上升, 当其高于同相端电位时, 保护电路将关断 IGBT, 同时 SO 立即变为低电平, 将故障状态报告给控制电路。

由式(4)可知,  $D_{ref}$  的选取对 IGBT 的电流保护阈值的确定至关重要。其选取方法如下:

首先根据如图 4 所示的实际系统使用的 DIM1600FSS12-A000 模块的输出特性曲线 ( $I_c - V_{ce}$  曲线), 结合 ME 引脚外接电路的计算才能确定。按照所要确定的电流保护阈值  $I_{c(th)} = 3\ 000\ A$  (根据应用场合确定), 在  $I_c - V_{ce}$  曲线上查找出相对应的管压降  $V_{ce(th)} \approx 2.9\ V$ , 则  $D_{ref}$  的稳压值  $V_{ref}$  可如下计算:

$$V_{ref} = 15 - \frac{15 - (V_{ce} + 3 \times 0.65)}{1\ 500 + 68} \times 1\ 500 \approx 5.3\ V \quad (5)$$

本系统选择 6 V 的稳压管。

值得注意的是: 集成的上拉电阻和外部的电容  $C_{me}$  使得在 IGBT 开通后的测量产生延迟, 即 IGBT 不会立即开通, 而是需要几微秒的时间才能完全开通。这个延迟时间被称为保护响应时间 (即保护盲区时间), 这是为了保证在 IGBT 完全饱和导通以后才进行有效的压降监测。本系统盲区时间设计在  $10\ \mu s$  以内。

用于计算响应时间的电容  $C_{me}$  取值的计算方法如下:

$$C_{me} = \frac{t_a}{1.5\ k\Omega \times \ln\left(\frac{V_{ce}}{V_{ce} - V_{ref}}\right)} \quad (6)$$

#### 2.4 闭锁时间电容 $C_b$ 的选取

当监测到过流或短路故障时,  $V_{ce}$  监测电路响应之后, IGD515E 会把门极驱动电压封锁一小段时间, 关断

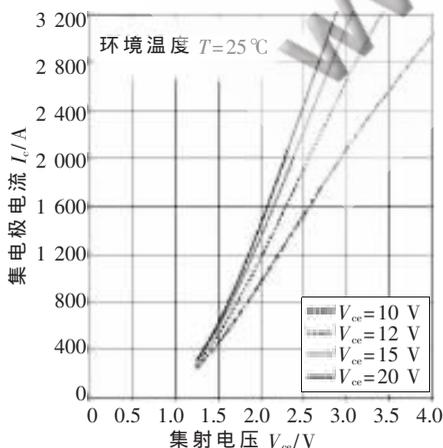


图 4 IGBT 输出特性曲线

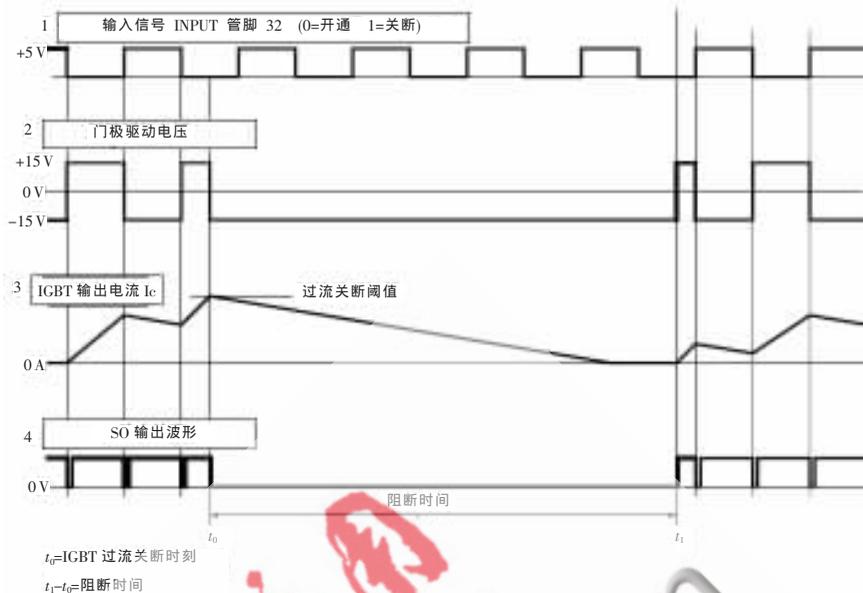


图 5 保护功能和闭锁时间的原理

IGBT。而这个时间称为闭锁时间, 并且在闭锁时间内 IGBT 会维持这一状态。保护功能和闭锁时间的原理图如图 5 所示。闭锁时间由  $C_b$  引脚外接的电容  $C_b$  确定。 $C_b$  的计算如下:

门极驱动电压为  $\pm 15\ V$  时:

$$C_b = \frac{t_b}{71.6\ k\Omega} \quad (7)$$

$$C_{b\ max} = 470\ nF \quad (8)$$

本系统中设定闭锁时间  $t_b = 20\ ms$ , 经计算取整得到  $C_b = 330\ nF$ 。

闭锁时间过后, IGBT 立即恢复导通。

#### 2.5 $C_s$ 的设计

如图 2 所示, 在  $C_s$  引脚和 COM 引脚之间连接了 1 个耐冲击的低感阻塞电容 (常用电解电容), 此电解电容为门极电容提供充电电流, 同时对 DC/DC 变换器起到退耦作用, 因此必须与驱动器模块 IGD515E 尽可能地接近。为了保证集成 DC/DC 变换器正常启动, 该值不应过大, 本设计选取其值为  $250\ \mu F$ 。

此外, 为了防止次级工作电压突升, 1 个  $16\ V$  的稳压二极管必须与阻塞电容  $C_s$  并联, 而且其功耗至少为  $1.3\ W$ 。本系统选用的稳压管为  $16\ V/1.3\ W$ 。

#### 2.6 确认脉冲宽度的设定

由 SO 端输出的确认脉冲的宽度由管脚 36 ( $C_q$ ) 到管脚 24 (COM) 间的电容决定。如果不使用  $C_q$ , 则这个确认脉冲只有约  $30\ ns$  的持续时间。在本系统中选择  $C_q = 470\ pF$ , 对应的确认脉冲宽度约  $1\ \mu s$ 。

### 3 试验波形及分析

当内反馈斩波串级调速系统稳定运行在调速状态时开始做如下实验。

《微型机与应用》2010 年 第 29 卷 第 15 期

3.1 PWM 信号及门极驱动电压  $V_{gs}$  测试

从图 6 所测波形可以得到这样的结论：

(1) 该驱动电路将控制电路发出的 PWM 信号输出到光纤，再将光纤输入的信号进行处理变成驱动信号  $V_{gs}$  输出。即当 PWM 为低电平时，使外围电路的光纤接收器导通，光纤接收器将 1 个 0 V 的信号传输到 INPUT 引脚，此时输出  $V_{gs}=+15$  V 给 IGBT，则 IGBT 开通；当控制电路发出 PWM 信号为高电平，使光纤接收器关断时，光纤接收器输出 1 个 +5 V 信号传输到 INPUT 引脚， $V_{gs}=-15$  V，则 IGBT 关断。

(2) 驱动电路工作正常，可输出稳定可靠的驱动信号，使 IGBT 可以被正常驱动，以期望的开关频率可靠地运行，从而 IGBT 斩波器能够正常工作，满足了整个调速系统运行需求。

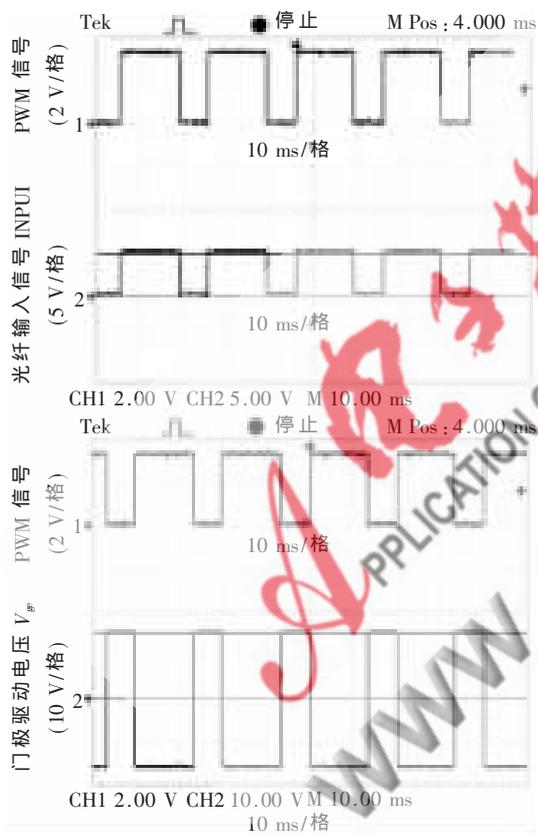


图 6 PWM 信号、光纤输入信号 INPUT 和门极驱动电压  $V_{gs}$  测试波形

## 3.2 状态输出端 SO 的波形及确认脉冲宽度的测量

经实验得到 SO 端输出的波形如图 7 所示。在 IGBT 正常工作无故障情况下，当输入信号 INPUT 发生跳变时，SO 端输出一个负的窄脉冲，其宽度由电容  $C_q$  和内部电阻确定，经示波器测量可知，当  $C_q=470$  pF 时，对应的确认脉冲宽度约 1  $\mu$ s。

所测波形说明状态输出端子 SO 工作正常，能够及

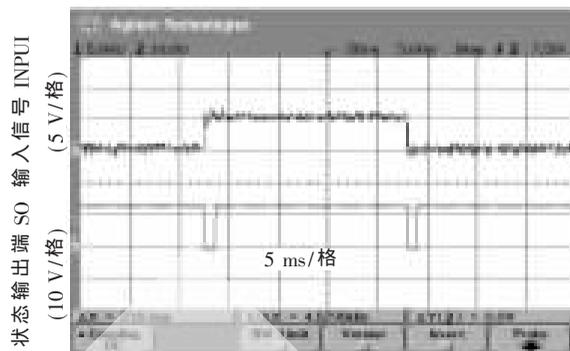


图 7 输入信号 INPUT 和 SO 输出

时反映 IGBT 的工作状况。

根据波形的测定，本文以 IGD515E 为核心所设计的驱动电路能够在斩波式内反馈串级调速系统上长期运用，根据用户的需要对相应参数进行重新设计即可以运用到实际中。实际运用结果表明，本驱动电路工作稳定、保护可靠、效果良好，其设计方法可行。

## 参考文献

- [1] 魏泽国. 可控硅串级调速的原理及应用[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1985.
- [2] RASHID M H. Power electronics: circuits, devices, and applications[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2007.
- [3] 盛祖权, 张立. IGBT 模块驱动及保护技术[J]. 电力电子, 2004, 2(1).
- [4] 姜萍, 王兵树, 林永君, 等. 斩波串级调速系统的自抗扰控制[J]. 电机与控制应用, 2009, 36(6).
- [5] CONCEPT 公司. Intelligent gate drivers for IGBTs and power MOSFETs[M]. 2000.
- [6] 厉无咎, 李海东. 可控硅串级调速系统及其应用[D]. 上海: 上海交通大学出版社, 1985.
- [7] 车向中, 王文举. IGD515EI 在大功率 IGBT 驱动电路设计上的运用[J]. 内燃机车, 2004(10).
- [8] RUEDI H, KOHLI P. IGBT drivers correctly calculated[M]. CT-Concept Technology Ltd, 1999.
- [9] Dynex Semiconductor. Driving high power IGBTs with concept gate drives application note [J]. Dynex Semiconductor, 2000, AN5190-2.0.

(收稿日期: 2010-03-12)

## 作者简介:

姚锐, 女, 1986 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 电力电子技术和电气拖动及自动化。

王兵树, 男, 1950 年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 仿真控制与电力拖动。

李娜, 女, 1979 年生, 助理工程师, 主要研究方向: 电力系统生产运行。