

高压大功率单元 IGBT 的驱动保护

任继红

(西安建筑科技大学 机电工程学院, 陕西 西安 710055)

摘要:合理设计驱动电路不但可以减少 IGBT 开关次数和开关过程损耗,降低发热量与输出电压波形畸变率,而且还可以减少事故发生概率,提高系统安全性、可靠性与系统持续可运行时间。文中首先通过分析各种调制控制方法与驱动电路优缺点,设计了 IGBT 驱动调制技术方案,接着又分析了 IGBT 的工作特性、驱动电路要求与 SCALE 模块结构原理,然后,使用 SCALE 作为驱动元件设计 IGBT 驱动保护电路。经过长时间运行验证,该电路可以很好满足使用要求。

关键词:级联功率单元; SPWM; 驱动模块; 短路与过流保护; 死区时间

中图分类号: TN 322+.8

文献标识码: A

0 引言

功率单元是级联高压变频器的的重要组成部分,其功率开关元件普遍选用 IGBT^[1~3]。合理设计驱动电路不但可以降低系统的损耗,而且也可以提高可靠性。尽管 IGBT 是一个双极型电压型全控器件,具有输入阻抗大、驱动功率小、控制电路简单、开关损耗小、通断速度快和工作频率高等优点,但是,它的实际开通与关断却与电路条件和开关环境关系非常密切^[4~6]。驱动和保护电路一直是功率单元设计的难点和重点。目前,虽然市场上驱动保护模块种类繁多,如国内常用的日本富士公司生产的 EXB8 系列、三菱电机公司生产的 M579 系列、美国 IR 公司生产的 IR21 系列、惠普生产的 HCLP-316J。由于这些模块在不同程度上存在驱动能力的限制,都不能很好地满足大功率单元 IGBT 的驱动与保护要求。经研究分析 CONCEPT 公司生产的 Scale 等驱动模块,发现该模块适合在 H 桥驱动电路中应用。文中将对其进行研究,并给出 1 700 V, 200 ~ 300 A, IGBT 的驱动和保护电路参数计算。

1 功率单元调制方式

如图 1 所示,功率单元主要由 3 部分组成:整流、滤波、逆变 H 桥。其中,逆变 H 桥开关元件选用 IGBT。每个单元中有 4 种不同的开关组合,即 V_a+ 和 V_b- 同时导通,则输出正的直流母线电压 $+U$; V_b+ 和 V_a- 同时导通,则输出负的直流母线电压 $-U$; V_a+ 和 V_b+ 同时导通或 V_a- 和 V_b- 同时导通,输出电压为 0。H 桥功率单元的载波移相控制是在 SPWM 控制理论上发展而来的。隔离变压器输出的 580 V 三相交流电经三相桥式电路整流,再滤波形成平直的直流电,然后在单极性 SPWM 调制控制下, H 型单相逆变桥输出电压在 0 ~ 580 V 间、频率在 0 到 50 Hz/60 Hz 间可调的单相交流电。

对 H 桥 4 个功率单元通断控制可以采用 4 种 PWM 信号。

1) V_a+ 和 V_b- 同时通断, V_a- 和 V_b+ 同时通断。当正弦波大于三角波输出高电平, V_a+ 和 V_b- 导通, V_a- 和 V_b+ 截止,反之, V_a- 和 V_b+ 导通, V_a+ 和 V_b- 截止。此类方法简单,但只能产生电平电压,谐波成分多,实际中不用。

2) 4 个 IGBT 都采用 SPWM。 V_a+ 与 V_a- 为一组,控制 PWM 由正相调制波与载波比较产生; V_b+ 与 V_b- 为一组,则由负相调制波与载波相比较产生。该方法谐波成分较少,但开关次数略多。

3) V_a+ 和 V_a- 全采用 SPWM, V_b+ 和 V_b- 采用阶梯波。当正弦波为正半周时 SPWM 驱动 V_a+ , 取反向 SPWM 驱动 V_a- , V_b- 由正向阶梯波驱动一直导通, V_b+ 由反向阶梯波驱动一直截止; 当正弦波负半周时, SPWM 驱动 V_a- , 反向 SPWM 驱动 V_a+ , V_b+ 由正向阶梯波驱动一直导通, V_b- 由反向阶梯波驱动一直截止。此类方法可以输出 3 电平, 多个装置级联叠加可以产生 $2N+1$ 个电平相电压, 波形好, 脉动小, 谐波成分与方法 2) 相同, 但开关总的开关次数少, IGBT 损耗低。

4) V_a+ 和 V_b+ 全采用 SPWM, V_a- 和 V_b- 半采用 SPWM, 半采用阶梯波。当正弦波为正半周时 SPWM 驱动 V_a+ , 取反向 SPWM 驱动 V_a- , V_b- 由正向阶梯波驱动一直导通, V_b+ 由反向阶梯波驱动一直截止; 当正弦波为负半周时, SPWM 驱动 V_b+ , 反向 SPWM 驱动 V_b- , V_a- 由正向阶梯波驱动一直导通, V_a+ 反向阶梯波驱动一直截止。该电路可以输出的电平数量、波形、总的开关次数、谐波成分、损耗都与方法 3) 相同, 但 IGBT 平均开关次数更加均衡, 在一定程度上可以延长 IGBT 寿命。本次开发功率单元选用该方法。

2 IGBT 驱动电路要求

IGBT 有 3 个工作区, 线性放大区、饱和区和截止区, 但一般工作在饱和导通和截止 2 个状态。在设计 IGBT 驱动时必须注意以下几点。

1) 栅极正向驱动电压的大小将对电路性能产生重要影响。当正向驱动电压增大时, IGBT 的导通电阻下降, 开通损耗减小; 但若正向驱动电压过大, 则负载短路时 IGBT 电流随 U_g 增大而增大, 可能使 IGBT 出现擎柱效应, 导致门控失效, IGBT 损坏; 若正向驱动电压过小, 则会使 IGBT 退出饱和导通区进入线性放大区, 造成 IGBT 过热损坏。使用中选 $12\text{ V} \leq U_g \leq 18\text{ V}$ 为好。栅极负偏置电压可防止由于关断时浪涌电流过大而使 IGBT 误导通, 一般负偏置电压选 5 V 为宜。另外, IGBT 开通后驱动电路还应提供足够的电压和电流幅值, 使 IGBT 工作在饱和导通区, 否则极易损害 IGBT。

2) IGBT 快速开通和关断有利于提高工作频率, 减小开关损耗, 但在大电感负载下, IGBT 的开关频率不宜过大, 因为高速开通和关断时, 会产生很高的尖峰电压, 极有可能造成 IGBT 或其他元器件被击穿。目前国内尚无标准可循, 参考美国标准 NEMA MG1-1993《电动机和发电机》第 30 节有关规定 du/dt 的限制条件为输出相电压从 10% 峰值升到 90% 峰值时间不得小于 $1\text{ }\mu\text{s}$, 对 2.3 kV 传动系统 $du/dt \leq 1.50\text{ kV}/\mu\text{s}$, 对 6 kV 传动系统 $du/dt \leq 3.92\text{ kV}/\mu\text{s}$ 。

3) 选择合适的栅极串联电阻 R_g 和栅射电容对 IGBT 的驱动相当重要。 R_g 小, 栅射极之间的充放电时间常数比小, 开通瞬间电流较大, 易于损坏 IGBT; R_g 较大, 有利于抑制 dv/dt , 但会增加 IGBT 的开关时间和开关损耗。合适的栅射电容有利于抑制 di/dt 。栅射电容太大, 开通时间延时; 栅射电容太小对抑制 di/dt 效果不明显。

4) 当 IGBT 关断时, 栅射电压很容易受 IGBT 和电路寄生参数的干扰, 使栅射电压引起器件误导通。为防止这种现象发生, 可以在栅射间并接一个电阻。此外, 在实际应用中为防止栅极驱动电路出现高压尖峰, 最好在栅射间并接 2 只反向串联的稳压二极管。其稳压值应与正负栅压相同。

5) 一般情况下为了防止误导通, 在关断情况下, 还应该在栅极上加上反向电压。理想的驱动电路, 应该使其开通上升沿和关断下降沿陡峭, 这样可以缩短开通或关断时间, 降低开关损耗, 延长开关寿命。

3 SD106AI-17 的电路结构^[7-10]

SD106AI-17 是 SCALE 驱动模块一款产品。它的内部结构如图 2 所示, 主要由 3 个功能块组成即逻辑转换驱动接口 LDI, 智能门极驱动器 IGD, DC/DC 隔离转换。LDI 主要作用为: ①为用户信号输入提供

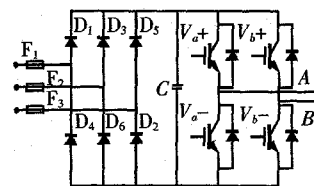


图1 功率单元主电路图

Fig. 1 Principle circuit of power unit

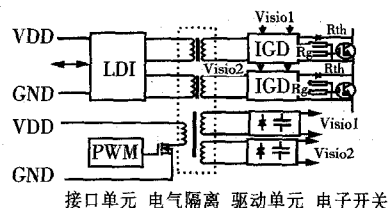


图2 SD106AI-17 内部结构图

Fig. 2 Block diagram of the 2SD106AI-17

一个接口,简单的电平匹配为 5~15 V,每个输入信号都有一个施密特触发器;②半桥模式可以产生死区时间;③把接收来的 PWM 重新编码,分两路经隔离变压器输出;④可以反馈输出 IGBT 状态信号,以便在故障情况下,控制系统封锁输出的 PWM 信号。

IGD 主要作用为:①对隔离变压器输出的信号进行解码;②放大 PWM 信号,驱动 IGBT;③检测 IGBT 工作情况,发现短路或过流产生响应时间与封锁时间信号;④向 LDI 输出 IGBT 状态信号。

DC/DC 隔离转换作用为由一路 15 V 电源产生 2 路相互隔离的 15 V 电源,分别供给 GDI 上半部分与下半部分。

4 IGBT 的驱动与保护设计

4.1 驱动电路

级联功率单元的逆变主电路为 H 桥式电路。一个 H 桥由 2 个半桥组成,它们的驱动要求完全一样。选用一片 SD106AI-17 只可以驱动一个桥臂上的 IGBT(图 3)。RC₁ 和 RC₂ 相连网络主要是限定死区时间,防止桥臂直通。InA 为 PWM 输入引脚,VL/Reset 接齐纳二极管负极,选定输入信号为 TTL 信号模式。SO₁ 和 SO₂ 为 IGBT 工作状态信号,MOD 为工作模式选择。在图 3 中接地为半桥模式,当 InB 为低电平时,2 个 IGBT 均被关断,反之,则可以接收 PWM 控制。图 4 为正常情况下各通道驱动信号。图 5 为异常情况下封锁示意图。

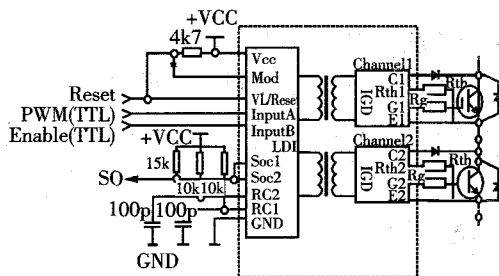


图 3 半桥工作模式电路图

Fig. 3 Application circuit of half-bridge mode with dead time generation

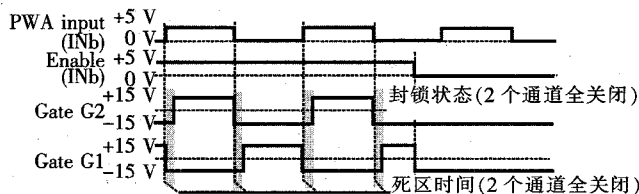


图 4 半桥模式驱动信号波形示意图

Fig. 4 Diagram of Half bridge mode driver

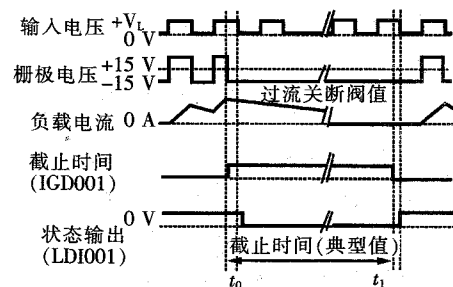


图 5 短路过流封锁示意图

Fig. 5 Short circuit & over current block diagram

4.2 IGBT 栅极串联电阻 R_g 计算

SD106AI-17 输出引脚没有过流保护, R_g 大通过渡时间长, IGBT 能耗增加, 小则 di/dt 过大, 可能引起门极电压振荡, 造成 IGBT 误导通, 严重时损坏 IGBT。通过以下公式可以选择 R_g 最小值。

$$R_{gmin} = \Delta U / I_{gmax} \quad (1)$$

ΔU 是门极正反偏置电压之差, I_{gmax} 为驱动电路所能提供的最大电流, SD106AI-17 最大输出电压正反向均为 15 V, 因此, $\Delta U = 15 - (-15) = 30$ V, 最大输出电流为 15 A。所以, $R_{gmin} = 2 \Omega$, 本装置选用 3.3Ω 。

4.3 短路与过流保护

SD106AI-17 的每个驱动电路通道都有 V_{ce} 监测电路。Scale 内部提供了 2 个电流源 I_1, I_2 , 电阻 R_{th} 用来定义关断电压的阈值 V_{th} , 一旦检测出 V_{ce} 超出动作值 V_{th} , Scale 内部电路立即关闭功率器件, 不再接收驱动信号。同时过流故障信号通过状态输出端子 SO_x 去封锁 PWM。

保护动作时, $I_1 \times R_m \times V_{ce} + 0.7 \times n = I_2 \times R_{th}$, 其中 n 为 IN4007 二极管的串联个数。因此

$$R_{th} = \frac{I_1 R_m + V_{CE} + 0.7n}{I_2} \quad (2)$$

式中 $I_1 = 1.4$ mA; $I_2 = 150$ μ A; R_m 一般取 180Ω 的压降, 大约为 252 mV。

表 1 给出了 Scale 过流和短路的动作时间 T , R_{th} 参考值, 封锁电压门槛值 V_{th} 和 V_{ce} 之间的关系。

表 1 R_{th} 和 V_{ce} 对应关系表Tab.1 Relationship between R_{th} and V_{ce}

$R_{th}/k\Omega$	动作时间 $T/\mu s$	V_{th}/V	V_{ce}/V
33	≈ 6.8	≈ 4.7	3.25
39	≈ 7.6	≈ 5.6	4.15
47	≈ 9.0	≈ 6.8	5.35

表 2 RC 网络与死区时间

Tab.2 RC network and dead time

$R/k\Omega$	C/pF	死区时间
10	47	约 200 ns
10	100	约 500 ns
15	120	约 1.1 μs
22	150	约 2.1 μs
33	220	约 4.6 μs

4.4 死区时间

SD106AI-17 在半桥工作模式下,可以改变 RC_1 与 RC_2 网络参数,改变死区时间。死区时间一般限定在 100 ns 到几 ms 间。图中 RC_1 与 RC_2 均有 10 k Ω 的电阻和 100 pF 电容组成,大约延时 500 ns,死区时间设置可以参看表 2。

5 结 语

按照以上思路所设计的功率单元 IGBT 主要参数为 1 700 V, 200 ~ 300 A, V_{ce} 为 3.25 V, 死区时间为 200 ns。经过测试证明,该单元工作稳定可靠,达到了设计要求。

智能化 IGBT 驱动模块 SCALE 驱动能力强、可靠性高、具有较好的保护功能,也可以使功率单元的 2 个逆变桥上半部分采用 SPWM, 下部分采用 SPWM 与阶梯波控制,输出电压波形畸变率低,IGBT 开关次数少。SCALE 系列驱动模块是大功率 IGBT 驱动的理想元件。

参考文献 References

- [1] 孙 稚, 孙梅生, 王 磊. 大功率 IGBT 驱动模块 SD106AI-17 的特性及其应用[J]. 电力电子技术, 2002, 36(6): 73-75.
SUN Zhi, SUN Mei-sheng, WANG Lei. Character and application of a power IGBT driver module 2SD315A[J]. Power Electronics Technologies, 2002, 36(6): 73-75.
- [2] 王淑红, 高永生. IGBT 智能化驱动板 SCALE[J]. 国外电子器件, 2004, 26(7): 28-31.
WANG Shu-hong, GAO Yong-sheng. Intelligent SCALE driver for IGBT[J]. International Electronic Elements, 2004, 26(7): 28-31.
- [3] 葛照强, 黄守道. 基于载波移相控制单元串联多电平变频器的分析研究[J]. 电气传动, 2006, 36(10): 22-25.
GE Zhao-qiang, HUANG Shou-dao. Analysis and research of multi_level voltage converter based on carrier pulse shift control [J]. Electric Transmission, 2006, 36(10): 22-25.
- [4] 傅电波, 伊项根, 王志华, 等. 高压变频分段 SPWM 控制策略与研究[J]. 电力自动化设备, 2002, 32(10): 13-16.
FU Dian-bo, YIN Xiang-gen, WANG Zhi-hua, et al. Research and implementation of medium_voltage inverter based on time_segment SPWM control strategies[J]. Electric Power Automation Equipment, 2002, 32(10): 13-16.
- [5] 潘江洪, 苏建徽, 杜 雪. 高压大功率 IGBT 驱动和保护电路的应用研究[J]. 电源技术应用, 2006, 30(11): 23-26.
PAN Jiang-hong, SU Jan-wei, DU Xue. Study on application of SCALE driver for high voltage IGBT[J]. Application of Power Technologies, 2006, 30(11): 23-26.
- [6] 卫三民, 李发海. 一种大功率 IGBT 实用驱动及保护电路[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2001, 41(9): 55-58.
WEI San-min, LI Fa-hai. High power IGBT driver and protection circuit[J]. Journal of Tsinghua University(Sci & Tech), 2001, 41(9): 55-58.
- [7] 郝润科, 杨一波. 绝缘栅双极晶体管(IGBT)驱动及保护电路的研究[J]. 上海理工大学学报, 2004, 26(3): 284-286.
HAO Rui-ke, YANG Yi-bo. Study on IGBT driver and protection circuit[J]. Journal of University of Shanghai for Science and Technology, 2004, 26(3): 284-286.
- [8] 孙 强, 陶 健. 新型 IGBT 集成驱动模块 SD106AI-17 应用研究[J]. 现代电力, 2003, 20(3): 79-83.
SUN Qiang, TAO Jian. Study on a new type hybrid IC(2SD315A) for IGBT driver and protection[J]. Modern Electric Power, 2003, 20(3): 79-83.

Method of designing city's public safety database

XU Cui-ling¹, XIAO Zhi-guo²

(1. College of Earth Science and Land Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China;

2. Chinese People's Armed Police Forces in Shaanxi Province, Xi'an 710054, China)

Abstract: The article describes the development of GIS spatial data model, introduces the characteristics and advantages of Geodatabase data model, enumerates three common methods for building Geodatabase, discusses how to build city's public safety database with case tools, then provides one kind of method and approach. The study proved that object-oriented method can be properly applied to designing spatial database using this method, greatly reduced the time and improved the efficiency of building a database, and make city's public safety information system more better serve to society.

Key words: Geodatabase; city's public safety; database

* **Biography:** XU Cui-ling, Ph.D., Xi'an 710054, P. R. China, Tel:0086-13991282379, E-mail: xucling@sina.com

(上接第558页)

- [9] 陈建峰,陶生桂,康劲松. 高压 IGBT 的驱动器应用研究[J]. 同济大学学报, 2001, 29(2): 214-219.
CHEN Jian-feng, TAO Sheng-gui, KANG Jin-song. Study on application of SCALE driver for hight voltage IGBT[J]. Journal of Tongji University, 2001, 29(2): 214-219.
- [10] 王 威, 李 亮, 方 昕, 等. 高压大功率 IGBT 的驱动与保护方案研究[J]. 通信技术, 2005, 22(1): 11-14.
WANG Wei, LI Ling, FANG Xin, et al. Study on driving and protection for hight voltage and large power IGBT[J]. Telecom Power Technologies, 2002, 22(1): 11-14.

Driver protection of cascaded power cell's IGBT

REN Ji-hong

(College of Mechanical and Electric Engineering, Xi'an University of Architecture Science and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: The rational designed driving circuit can not only reduce the IGBT switching times and the loss of the switch and lessen the heat amount and the output voltage's distort rate, but also lessen the probability rate of fault, promote the system's safeguard and reliability and prolong the systems continuing running time. The disadvantage and advantage of each modulation control method and driver circuit, then driver module scheme designed, IGBT characteristic and need of driver electric circuit also analyzed, structure and principle of SD106AI-17 SCALE module introduced, then design driver of IGBT with SCALE. The process of IGBT driver and protect circuit development discussed. By long time operation, the circuit is proven to meet the application request.

Key words: cascaded power cell; SPWM; driver module; protection of short circuit and over current; dead time

* **Biography:** REN Ji-hong, Lecturer, Xi'an 710055, P. R. China, Tel:0086-13891999625, E-mail: renjihonggz@163.com