

级联高压变频电源功率单元 IGBT 的驱动和保护

于 瑛

(西安建筑科技大学机电工程学院, 陕西 西安 710055)

摘 要: IGBT 驱动与保护的设计是中高压变频器研究开发一个难点与技术关键点. 选用 CONCEPT 公司生产的 2SD315A 模块作为功率单元 IGBT 的驱动模块, 详细阐述了驱动电路的连接方式及外围的短路与过流保护电路的设计及其参数计算. 经过长时间运行验证, 该驱动电路能够很好满足使用要求.

关键词: 功率单元; 2SD315A; 短路与过流保护; 死区时间

中图分类号: TN322+.8

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2013)01-0147-06

功率单元是级联高压变频器的重要组成部分, 目前普遍选用 IGBT(绝缘栅双极晶体管)作为功率单元逆变电路的主开关元件. IGBT 是一种新型复合电压控制电力电子器件, 其广泛地应用于要求快速、低损耗的领域, 例如: 电机控制、变频器和逆变电源等相关领域. 尽管该器件具有输入阻抗大、响应速度快、驱动功率小、开关损耗小、通态压降低和工作频率高等优点, 但是, 由于 IGBT 是电压控制型器件, 只要控制栅极电压就可以控制其开通和关断, 所以它的安全工作区和开关特性会随着驱动电路的改变而改变, 因此设计高效合理的驱动电路是 IGBT 得以正常工作的重要保证, 也是功率单元设计的难点和重点^[1].

目前, 市场上存在很多种类的驱动保护模块, 国内常用的有日本富士公司的 EXB8 系列, 三菱电机公司的 M579 系列等, 但是这些常用的模块目前在不同程度上存在驱动能力的限制和保护功能不够完善等不足. 由于一些特殊的大功率变频器所需瞬时驱动电流大, 且用户对变频器的性能要求比较高, 所以上述驱动模块已经不能满足其使用要求. 本文经过研究分析选用瑞士 CONCEPT 公司生产的 Scale 系列中的 2SD315A 专用集成驱动模块作为大功率 IGBT 的驱动和保护器件, 用于功率单元逆变 H 桥的驱动. 以下将详细阐述基于 2SD315A 模块的功率单元 IGBT 的驱动和保护.

1 功率单元工作原理及调制方式选择

功率单元的主电路结构如图 1 所示, 该电路主要由三部分组成: 整流、滤波、逆变 H 桥. 功率单元工作原理是经过变压器隔离的 380 V 三相交流电通过三相桥式不控整流电路整流后, 经大电容滤波, 使得到的直流电基本无脉动, 然后经过单相全桥逆变电路(H 型电路), 通过单极性 PWM 调制控制得到输出电压在 0 到 580 V 间, 基频在 0 到 50 Hz/60 Hz 间可调的等效正弦波形.^[1]

通常选用 IGBT 作为逆变 H 桥主开关元件. 把桥臂 V1 和 V4 作为一对, 桥臂 V2 和 V3 作为另一对, 当成对的桥臂同时导通, 功率单元有 2 种输出形式: ① V1 和 V4 同时导通输出为正的直流母线电压 +U; ② V2 和 V3 同时导通, 输出为负的直流母线电压 -U. 另外, 还有两种开关组合的形式, 即: V1 和 V2 同时导通或 V3 和 V4 同时导通, 这时输出电压均为 0 V.

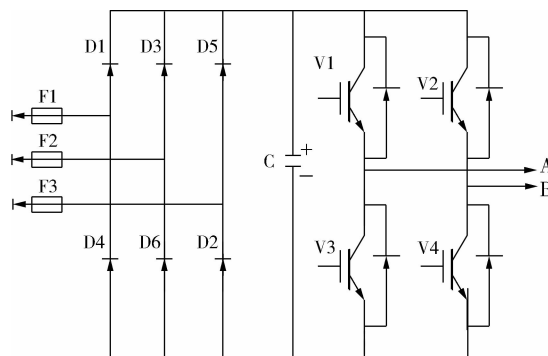


图 1 功率单元主电路图

Fig. 1 Main circuit of power unit

收稿日期: 2012-10-09 修改稿日期: 2013-01-16

基金项目: 陕西省教育厅科研计划资助项目(2010KJ664); 2012 年西安市产业技术创新计划项目(CX12181②); 西安建筑科技大学学科建设重点培育计划专项资金建设项目(XK201223)

作者简介: 于 瑛(1979-), 女, 陕西西安人, 硕士, 讲师, 主要研究方向为电力电子.

对 H 桥中 4 个主开关元件 IGBT 的通断控制可以采用以下 4 种 PWM 信号:

① V1 和 V4 同时通断, V3 和 V2 同时通断.

当正弦波大于三角波时输出高电平, 则 V1 和 V4 导通, V3 和 V2 截止, 反之, 则 V3 和 V2 导通, V1 和 V4 截止, 该方法控制相对简单, 缺点是只能输出 2 个电平信号, 输出电压谐波含量高, 在实际应用中不可取.

② 4 个 IGBT 的通断控制都采用 SPWM 信号.

该方法选取 V1 与 V3 为一组, 控制信号由正相调制波与载波比较产生; V2 与 V4 为一组, 控制信号则由负相调制波与载波相比较产生. 该方法使得输出电压谐波含量减少, 缺点是开关次数比较多.

③ V1 和 V3 的通断控制采用 SPWM 信号, V2 和 V4 的通断控制采用阶梯波信号.

当正弦波处在正半周时, SPWM 信号驱动 V1, 取反后驱动 V3, 梯形波驱动 V4 使其持续导通, V2 截止; 当正弦波处在负半周时, SPWM 信号驱动 V3, 取反后驱动 V1, 梯形波驱动 V2 使其持续导通, V4 截止. 采用这种控制方式可以输出 3 个电平, 以此类推 N 个装置级联可以输出 $2N+1$ 个电平. 该方法输出电压波形好且脉动小, 谐波含量与方法②相同, 但总的开关次数却能够减少, 降低了损耗.

④ V1 和 V2 的通断控制采用 SPWM 信号, V3 和 V4 的通断控制分时采用 SPWM 信号和阶梯波信号.

当正弦波处在正半周时, SPWM 信号驱动 V1, 反向的 SPWM 信号驱动 V3, 阶梯波驱动 V4 使其持续导通, V2 截止; 当正弦波处在负半周时, SPWM 驱动 V2, 反向 SPWM 驱动 V4, 阶梯波驱动 V3 使其持续导通, V1 截止. 显然使用这种控制方法也可以输出 3 个电平, 并且输出电压的波形、谐波含量, 主开关元件 IGBT 的开关次数、损耗等参数都与方法③相同, 但该方法使得四个 IGBT 平均开关次数更加均衡, 避免某些 IGBT 开关过于频繁, 因此可以延长 IGBT 寿命.

分析利弊, 本文选用最后一种方法作为功率单元控制方式.

2 2SD315A 模块概述

SCALE 系列驱动器是 CONCEPT 公司专门为驱动和保护 IGBT 或功率 MOSFET 生产的专用集成驱动模块. 2SD315A 是 SCALE 系列中一款双路集成化 IGBT 驱动模块, 适合驱动 1 200 V 或 1 700 V 等级的大功率 IGBT. 和其他模块相比, 它具有以下优势: 有半桥和独立两种工作模式可供自由选择, 并且在作为半桥驱动器的时候, 能够很方便的设置死区时间; 控制逻辑有 TTL 和 +15 V 两种电平, 可任选其一; 模块内部集成有过流保护电路可作短路和过流保护; 具有智能欠压检测功能等. 目前该模块广泛的应用于大功率变频器和逆变电源等相关领域.

2.1 2SD315A 驱动模块内部结构

2SD315A 的内部结构如图 2 所示, 主要由逻辑转换驱动接口 LDI、智能门极驱动器 IGD 和 DC/DC 隔离转换三个功能块组成.

由控制回路产生的 PWM 信号不能简单的通过变压器传送, 尤其是在有很大的频率变化和占空比变换时更是不行, 所以需要设计一个接口, 逻辑转换驱动接口 LDI (Logic To Driver Interface) 正是为此而设计的, 它可以为用户提供一个方便操作的界面, 将 PWM 信号编码后传送给下一级, 同时对收集到的状态信号解码并传输给控制回路, 而且可以产生在半桥模式下所需要的死区时间. 智能门极驱动器 IGD (Intelligent Gate Driver), 它将通过脉冲变压器从 LDI 中接收控制信号进行解码并放大输出 ± 15 V / ± 15 A (瞬时电流) 的驱动信号以驱动大功率 IGBT, 并且还能够对 IGBT 进行过流与

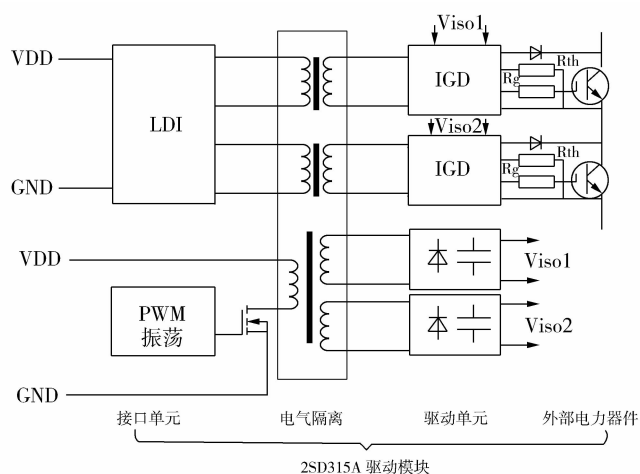


图 2 2SD315A 内部结构图

Fig. 2 Inner structure of 2SD315A

短路、驱动欠压保护,同时可将输出状态信号进行编码送到 LDI 中。如图所示,在每个 2SD315A 模块内部都包括两个 IGD, DC/DC 隔离转换器,它主要用于给两路通道提供彼此隔离的电源,电气隔离耐压等级达到 4 000 V^[2-3]。

2.2 工作模式与死区时间

通过对模式选择端 MOD 引脚电平的定义,2SD315A 可产生独立与半桥两种工作模式供用户选择。如果模式选择端 MOD 接高电平 V_{DD} ,则选择了独立工作模式,这时输入引脚 RC_1 与 RC_2 必须同时接地,这样两个驱动通道是相互独立的,驱动信号之间不会有任何逻辑联系。如果模式选择端 MOD 接 GND,则选择了半桥工作模式,这时驱动器同时驱动 H 桥电路一个桥臂上的两个 IGBT,为保证上、下两只 IGBT 不会直通,也就是要保证两路输出信号不会同时为高电平,于是就需要调节死区时间,将输入引脚 RC_1 和 RC_2 分别外接一个 RC 网络,可以通过外接 RC 元件调节死区时间。在独立模式下,由于双路驱动信号是相互独立的,所以不具有死区时间调节和互锁的功能,用户在使用时可以根据需要输入两路已经包含有死区时间的 PWM 信号。本文选择 2SD315A 模块的半桥工作模式^[3]。

为避免上、下两个 IGBT 同时导通必须设置死区时间,在这个时间段内两个管子同时关断。死区时间是由 RC_1 、 RC_2 端子外接 RC 网络来产生,死区时间的设置参照表 1,一般可以从 100 ns 到几个 μs 。

2.3 故障保护

2SD315A 模块内部具有短路与过流以及驱动电压欠压的保护功能,它的两个通道输出端都配备有 U_{ce} 监测电路。由于集电极饱和导通压降和集电极电流近似成正比,所以通过检测 IGBT 集电极饱和导通压降来确定过流状态。当检测到异常状态时,监测电路会将信号反馈到驱动模块,驱动模块内部会同步产生一个封锁时间,大约为 1 s,在这个时间内驱动模块不再发出驱动信号,两组 IGBT 截止。2SD315A 模块内部集成的比较器,用来监测驱动电压的幅值,如果驱动电压低于 11 V 时,则认为处于驱动电压欠压状态,此时应关断 IGBT^[3-4]。

表 1 RC 网络与死区时间

Tab. 1 RC network and the time of dead zone

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

3 IGBT 的驱动与保护设计

3.1 驱动电路

功率单元中逆变 H 桥的四个 IGBT 主要参数为 1 700 V, 200~300 A, 分别由两片 2SD315A 控制, 每片 2SD315A 驱动 H 电路一个桥臂上、下两只 IGBT。Mod 为工作模式选择, 在图中连为接地, 选择为半桥模式。图 3 是一个桥臂及其半桥工作模式的驱动电路连接图, 另一个桥臂和驱动电路与图 3 完全相同, 只是在 InputA 的输入前多加了一个反相器, 目的是确保斜对角的两个 IGBT 同时导通。

上图中, InputA 和 InputB 输入信号均为 TTL 信号模式。InputA 为 PWM 输入引脚, 当 InputB 为低电平时, 不能接收 PWM 信号, 两个 IGBT 均关断, 当 InputB 为高电平时, 则可以接收 PWM 控制信号。Soc1 和 Soc2 引脚专门用于输出模块的工作状态, 两个引脚分别对应两个驱动通道。当模块正常工作时, Soc1 和 Soc2 输出都为高电平, 当某一路通道检测出有故障信号时, 相应的 Soc 引脚输出低电平。RC1 和 RC2 外接 RC 网络, 主要作用是调节死区时间, 防止桥臂直通。VL/Reset 是用来定义具有施密特性质的输入 InputA 和 InputB, 使得输入在 $2/3 V_L$ 时开启, 在 $1/3 V_L$ 时关断。

半桥工作模式下, 正常情况各通道驱动信号波形示意图如图 4 所示, 异常情况封锁示意图如图 5 所示。

3.2 短路与过流保护

在对器件的短路与过流保护中, 合理选取驱动模块参考电阻 R_{th} 的阻值, 可以决定 IGBT 的电流保护阈值, 进而达到对器件的保护。具体原理是: 2SD315A 每个驱动电路通道都设有引脚 C 的电压监测电路, 驱动模块内部有电流源给 R_{th} 引脚提供 150 μA 的输出电流。IGBT 处于导通状态时, 当驱动模块中某一路引脚 C 的电压超出引脚 R_{th} 的电压时, 驱动模块自动进入保护状态, 内部电路立即关闭功率器

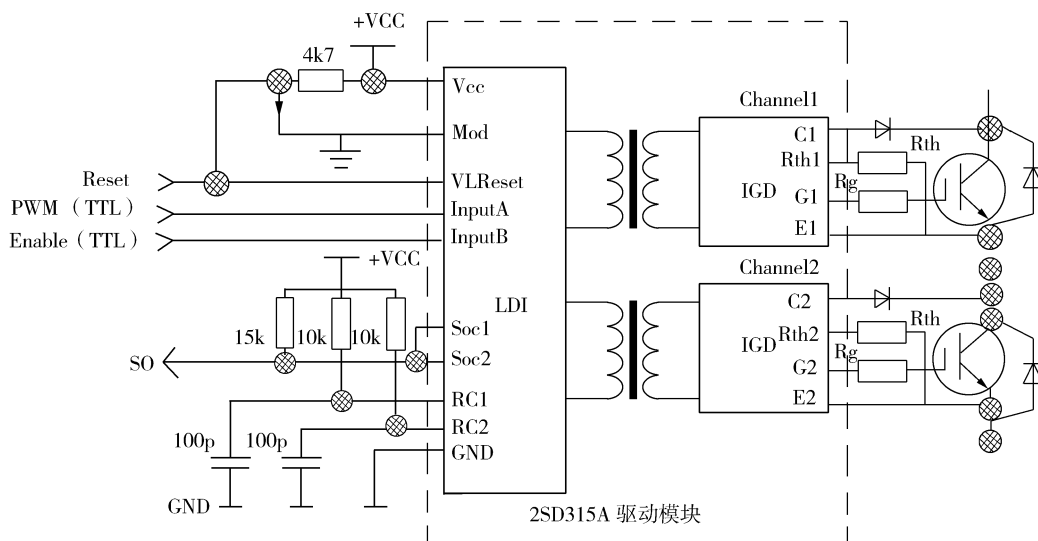


图 3 半桥工作模式电路图

Fig. 3 Circuit diagram of half bridge mode

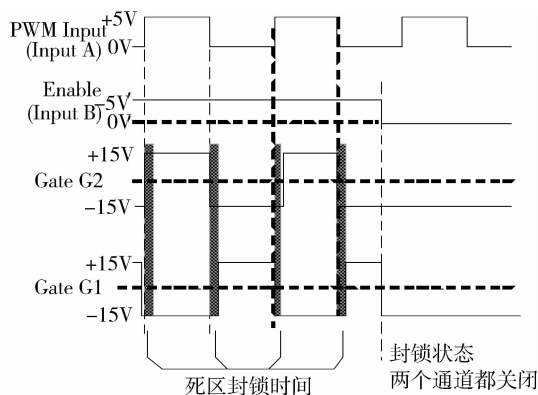


图 4 半桥模式驱动信号波形示意图

Fig. 4 Driving signal waveform of the half bridge model

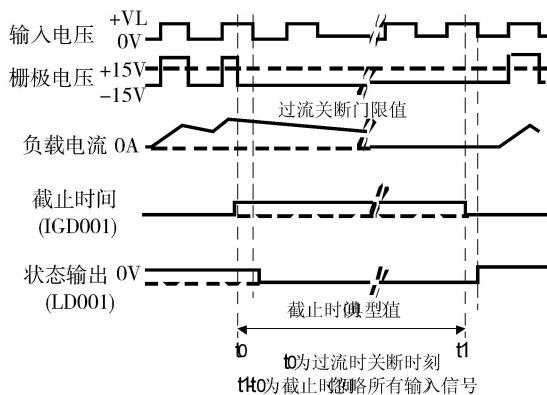


图 5 短路过流封锁示意图

Fig. 5 Blockade schematic diagram of the short circuit overcurrent

件,使其不再接收驱动信号.同时过流故障信号通过状态输出端子 SO_x 去封锁 PWM^[1].实际计算时,当处在临界保护条件下,可以通过以下公式计算 R_{th} 的阻值:

$$R_{th} = (U_{th} + U_d) / I \quad (1)$$

式中 U_{th} 为 IGBT 的 U_{ce} 电压保护阈值; U_d 为 IGBT 集电极所连接二极管的导通压降,约为 1.5 V; I 为 R_{th} 上的恒定电流 (150 μ A)

根据实际需求,本文选用的 IGBT 为 eupec 公司的 BSM200GA170DLC,集电极可重复峰值电流在 80 $^{\circ}$ C 条件下为 400 A、取其电流保护阈值为 250 A,常温下对应的 U_{ce} 电压阈值约为 2.9 V. 根据以上数值,由公式(1)计算可得驱动侧参考电阻: $R_{th} = 29 \text{ K}\Omega$. 当 U_{ce} 一旦超出电压阈值(约为 2.9 V)时,即可判断 IGBT 出现过流,驱动模块将自动进入保护状态^[4].

3.3 死区时间

2SD315A 在半桥工作模式下,为了保证上下桥臂两个 IGBT 不出现直通,可以通过改变与 RC1、RC2 端子外接的 RC 网络参数,调节死区时间,死区时间一般限定在 100 ns 到几个 μ s 间. 本文中 RC1、RC2 端子外接的 RC 网络均由 10 k Ω 的电阻和 100 pF 电容组成,根据表 2 可知,能够产生 500 ns 的死区时间,有效保证上下桥臂不直通.

3.4 IGBT 栅极串联电阻 R_g 计算

2SD315A 模块的输出引脚没有设置过流保护,为了防止两个驱动通道的 G、E 引脚在接线和测量

过程中短路,损坏模块,应用时需要在和 G 引脚相连的 IGBT 栅极上串联合适的电阻 R_g . 若 R_g 过大,则通断过渡时间变长,能耗增加;若 R_g 过小则电流变化率过大,可能引起门极电压振荡,造成 IGBT 误导通,甚至会损坏 IGBT. 实际选型时选择合适的 R_g 值非常重要,通过下式可以确定 R_g 的最小值.

$$R_{gmin} = \Delta U / I_{gmax} \quad (2)$$

式中: ΔU 是门极正反偏置电压之差, I_{gmax} 为驱动模块所能提供的最大电流. 2SD315A 模块最大输出正反向电压均为 15 V, 于是 $\Delta U = 15 - (-15) = 30$ V, 最大输出电流为 15 A. 所以, $R_{gmin} = 2 \Omega$, 应用中取 eupec 推荐的 3.3 Ω .

3.5 运行效果

本文选择的功率单元中 IGBT 的主要参数为 1 700 V, 200~300 A, 按照以上步骤对驱动模块外电路元件进行计算选型, 经过测试, 该功率单元可以稳定可靠工作, 能够达到预期设计要求. 下图为 6 个级联功率单元, 带 25 Hz 30 KW 纯阻性负载运行时的线电压波形图.

4 结 语

本文介绍了一种适用于大功率 IGBT 的驱动模块, 并将其应用到变频器功率单元 IGBT 的驱动中, 经过测试, 该单元工作稳定可靠, 能够满足设计要求, 表明 2SD315A 具有很强的动态驱动能力和可靠的保护功能, 是性能优良的新型 IGBT 集成驱动模块.

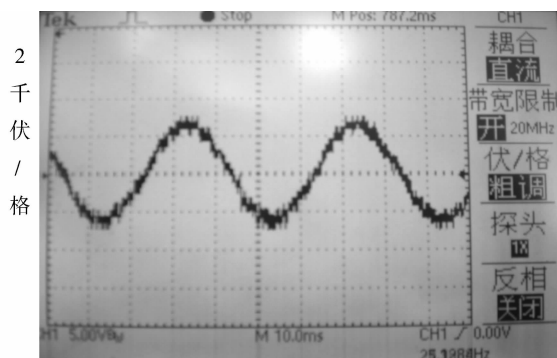


图 6 25 Hz 30 KW 电阻负载线电压波形

Fig. 6 Line voltage waveform
of 25 Hz 30 KW resistance load

参考文献 References

- [1] 刘敏层. 级联功率单元 IGBT 的驱动与保护研究[J]. 电气传动 2008, 38(3): 29-32.
LIU Min-ceng. Research of Driver and Protect of Cascaded Power Cell's IGBT[J]. Electric Drive, 2008, 38(3): 29-32.
- [2] 孙 强, 陶 健. 新型 IGBT 集成驱动模块 2SD315A 应用研究[J]. 现代电力, 2003, 20(3/4): 79-83.
SUN Qiang. TAO Jian. Study on a New Type Hybrid IC(2SD315A) for IGBT Drive and Protection[J]. Modern Electric Power, 2003, 20(3/4): 79-83.
- [3] 张 黎, 季占兴, 姜奋平. 智能化 IGBT 驱动模块 2SD315A 关键技术分析[J]. 大功率变流技术, 2009(1): 1-4.
ZHANG Li. JI Zhan-xing, JIANG Fen-ping. Analysis on the Technologies of Intelligent IGBT Driver Module 2SD315A[J]. High Power Converting Technology. 2009(1): 1-4.
- [4] 孙 稚, 孙梅生, 王 磊. 大功率 IGBT 驱动模块 2SD315A 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, 2002, 36(6): 73-75.
- [5] 马志文. 电力牵引交流传动互馈试验系统的研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2007.
MA Zhi-wen. Research on the Reciprocal Power-fed AC Drive Test System for Electric Traction[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2007.
- [6] 张 明. 大功率 IGBT 驱动保护电路的研究与应用[D]. 南京: 东南大学, 2010.
ZHANG Ming. The Research and Application of High-power IGBT Driver and Protection[D]. Nanjing: Southeast University, 2010.
- [7] Yohei Iwahashi, Yoshihito Mizuno, Masafumi Hara, et al. Analysis of current distribution on IGBT under unclamped inductive switching conditions[J]. Microelectronics Reliability, 2012, 52: 2430-2433.
- [8] Noel Y. A. Shammass, Ruchira Withanage, Dinesh Chamund. Optimisation of the number of IGBT devices in a series-parallel string[J]. Microelectronics Journal, 2008, 39: 899-907.

Drive and protection for power unit IGBT of Cascade high voltage frequency conversion power

YU Ying

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055 China)

Abstract: Technically the design of IGBT drive and protection is a key point in the research and development of high voltage inverter. In this paper, CONCEPT company 2SD315A module is chose has a driver module for power unit IGBT. The drive circuit connection, peripheral protection circuit design for short circuit and overcurrent and its parameters calculation are explained in detail. Repeated operation, proved that the drive circuit can meet the application requirements very well.

Key words: power unit; 2SD315A; short circuit and overcurrent protection; dead zone

Biography: YU Ying, Master, Lecturers, Xi'an 710055, P. R. China, Tel:0086-13509182272, E-mail:ying5100@126.com

(上接第 140 页)

- [11] LI Hong-jing, CHEN Yin-guang, GU Guo-wei. Effect of propionic to acetic acid ratio on biological nitrogen and phosphorus removal with low energy consumption[J]. China Environmental Science, 2008,28(8): 673-678.
- [12] LI H J, CHEN Y G, GU G W. The effect of propionic to acetic acid ratio on anaerobic-aerobic (low dissolved oxygen) biological phosphorus and nitrogen removal[J]. Bioresource Technology, 2008,99(10): 4400-4407.
- [13] Pijuan M, Casas C, Baeza J A. Polyhydroxyalkanoate synthesis using different carbon sources by two enhanced biological phosphorus removal microbial communities[J]. Process Biochemistry, 2009,44(1): 97-105.
- [14] Yagci N, Cokgor E U, Artan N, et al. The effect of substrate on the composition of polyhydroxyalkanoates in enhanced biological phosphorus removal[J]. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 2007,82(3): 295-303.

Influence of carbon source uptake and PHA synthesis on the removal ability of PAO

HAN Wei^{1,2}, YUAN Lin-jiang¹, LU Lin-yu¹

(1. School of Environment & Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055, China;

2. School of Geology & Environment, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: A/O-SBR(anaerobic/aerobic alternating enhanced biological phosphorus removal system) is used to study carbon source and phosphate accumulating organisms (PAO) intracellular energy storage substance transformation. The PHA synthesis and phosphorus removal ability is also analyzed. PAO could uptake quick degradation organic matters and synthesis polyhydroxyalkanoates(PHA). When the carbon source was sufficient, PHA synthesis rate and external carbon source consumption rate were consistent with a first-order rate equation. When the carbon source was insufficient, occurrence of endogenous respiration and a small amount of phosphorus absorption took place, but it didn't belong to excess phosphorus uptake. Aerobic phosphorus uptake rate was consistent with a first-order rate equation. When PAO consumed 1 mg PHB it could absorb 1.74 mg phosphorus. The maximum phosphorus removal capacity could reach 38.16 mgP/gVSS.

Key words: biological phosphorus removal; polyphosphate accumulating organisms; SBR; polyhydroxyalkanoates; poly- β -hydroxybutyrate; poly- β -hydroxyvalerate

Biography: HAN Wei, Candidate for Ph. D., Xi'an 710055, P. R. China, Tel:0086-13619252848, E-mail:509224435@qq.com