

大功率 IGBT 驱动过流保护电路研究

蔡兵, 王培元

(襄樊学院 物理学系, 湖北 襄樊 441053)

摘要: 针对 IGBT 驱动过流保护问题, 提出了分离元件驱动过流保护电路和模块驱动过流保护电路. 文中给出了分离元件驱动过流保护电路和模块驱动过流保护电路, 并详细分析了两者的工作原理, 指出了它们之间的优缺点.

关键词: IGBT; 分离元件驱动过流保护电路; 模块驱动过流保护电路

中图分类号: TP273⁺.4

文献标志码: A

文章编号: 1009-2854(2005)05-0060-03

IGBT 因其饱和压降低和工作频率高等优点而成为大功率开关电源等电力电子装置的首选功率器件, 但 IGBT 和晶闸管一样, 其抗过载能力不高^[1-2]. 因此, 如何设计 IGBT 的驱动过流保护电路, 使之具有完善的驱动过流保护功能, 是设计者必须考虑的问题. 本文从应用角度, 归纳、总结了 IGBT 的驱动过流保护电路的设计方法.

1 驱动过流保护电路的驱动过流保护原则

IGBT 的技术资料表明, IGBT 在 10 μs 内最大可承受 2 倍的额定电流, 但是经常承受过电流会使器件过早老化^[3], 故 IGBT 的驱动过流保护电路的设计原则为: 一、当过电流值小于 2 倍额定电流值时, 可采用瞬时封锁栅极电压的方法来实现保护; 二、当过电流值大于 2 倍额定电流值时, 由于瞬时封锁栅极电压会使 di/dt 很大, 会在主回路中感应出较高的尖峰电压, 故应采用软关断方法使栅极电压在 2 μs—5 μs 的时间内降至零电压^[4], 至最终为 -5 伏的反电压; 三、采用适当的栅极驱动电压. 基于上述思想, 驱动过流保护电路现分为分离元件驱动过流保护电路和模块驱动过流保护电路.

2 驱动过流保护电路的设计

2.1 分离元件驱动过流保护电路

以多电源驱动过流保护电路为例, 分离元件驱动过流保护电路^[5]如图 1. 图 1 中, T1、T4 和 T5 构成 IGBT 的驱动电路, DZ1、T3、D2、C4 构成延时降压电路. T6、555 集成电路和光耦 LP2 构成延时电路. 在正常开通时, T1 和 T4 导通, 由于 D1 和 R6 的作用, B 点电路不会超过 DZ1 击穿电压, 此时 T3 截止, D 点电位不会下降, 延时电路不延时, T2 截止. 当 IGBT 流过短路电流时, IGBT 的集射极压降上升, 此时 C 点电位上升, 上升时间 t_1 由式 (1) 求得^[6].

$$V_1 = V_{CC} + (V_{C2} - V_{CC})e^{-t_1/\tau_1} \quad (1)$$

式 (1) 中, V_{CC} 是电源电压, 单位为伏特; V_1 是 DZ1 击穿电压, 单位为伏特; $\tau_1 = R2 \times C2$, 为时间常数, 单位为秒; V_{C2} 为电容 C2 的初始电压, 单位为伏特.

当 C 点电位上升到 DZ1 的击穿电压时, T3 导通, C4 放电, D 点电位下降, 即 F 点和 G 点电位下降, IGBT 的栅极驱动电压下降. 同时, 光耦 LP2 导通, 延时电路开始计时, 此计时时间 t_2 由式 (2) 求得^[6].

$$V_2 = V_{CC} + (V_{C5} - V_{CC})e^{-t_2/\tau_2} \quad (2)$$

式 (2) 中, V_{CC} 是电源电压, 单位为伏特; V_2 是 555 翻转电平, 单位为伏特; $\tau_2 = (R_{14} + R_{15}) \times C_5$, 为时间常数, 单位为秒; V_{C5} 为电容 C_5 的初始电压, 单位为伏特。

如果过流故障在 555 计时时间 t_2 内消除, 则 C 点电位下降恢复到原来值, DZ1、T3 立即截止, 同时 C4 开始充电, F 点和 G 点电位上升, IGBT 的栅极电压恢复到原来的正常值, IGBT 继续正常工作; 如果在 555 计时时间 t_2 内过流故障还没有消除, 则 555 输出高电平, 经 T7、CD4043 和 CD4081 驱动光耦 LP1, 使 A 点电位下降并保持, T1 截止, T5 导通, IGBT 的栅射极电压最终为 -5 伏, 导致 IGBT 截止, 从而实现延时缓降压过流保护。其从发生过流故障到彻底关断 IGBT 所需的总时间 t 为

$$t = t_1 + t_2 \quad (3)$$

式 (3) 中, t 、 t_1 和 t_2 的单位都是秒。

此外, 单电源驱动过流保护电路的原理与上述多电源驱动过流保护电路类似, 可参阅文献[7]。

还应注意^[8]: (1) 选择合适的栅极驱动电压值; 正电压值一般在 12V—15V 为宜, 12V 最佳, 反向电压一般在 5V—10V;

(2) 选择合适的栅极串联电阻值, 一般选几欧姆到十几欧姆;

(3) 选择合适的栅射极并联电阻值或稳压二极管。

从上述分析可知, 分离元件驱动过流保护电路复杂, 但设计灵活。

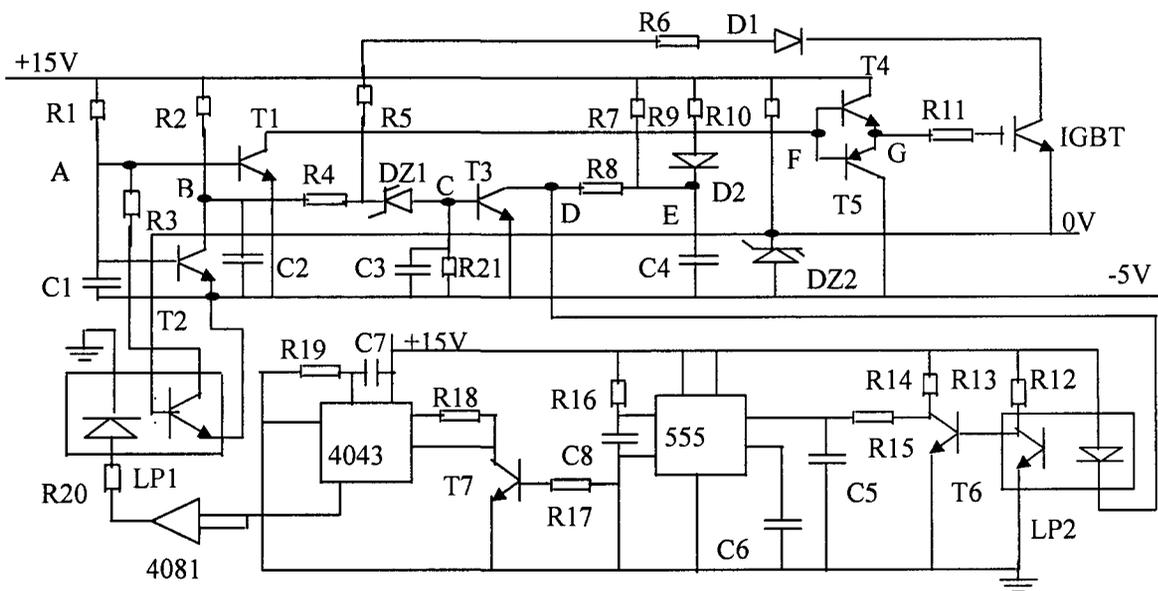


图 1 分离元件驱动过流保护电路图

2.2 模块驱动过流保护电路

以 EXB841 系列为例, 模块驱动过流保护电路^[9-10]如图 2。图 2 中, 9 脚为参考地, 2 脚电位为 20V, 1 脚电位为 5V, 当 14 脚、15 脚之间加上高电平驱动信号时, EXB841 中的互补输出级中的上管导通, IGBT 导通; 反之, 输入为低电平时, IGBT 关断。EXB841 内部过流保护电路通过检测 IGBT 的集射极电压 V_{ce} 来判断 IGBT 是否过流, 其判断公式为:

$$V_{ce} + V_i + V_D \geq V_2 \quad (4)$$

式 (4) 中, V_i 为 1 脚电位; V_D 为 6 脚所接二极管 D 导通压降; V_2 为 EXB841 内部二极管击穿电压。如设 $V_i = 5V$, $V_D = 1V$, $V_2 = 13V$, 即 $V_{ce} = 7V$ 时, 为过流保护电压阈值, 当 $V_{ce} < 7V$ 时保护电路不工作, 其保护功能为: 当过流时降低栅射极驱动电压, 并与慢关断技术相结合^[11]。在检测到短路 $2\mu S$ 后, 开始降低栅极驱动电压, $10\mu S$ 内降到 0V。在这段时间内, 若短路现象消除, 栅极驱动电压恢复到正常值; 若故障仍存在, 则 5 脚输出故障信号, 通过一定时间的延迟后, IGBT 的栅射极电压最终为 -5 伏, 同时封锁输入信号, 这样避免立即停止输入信号造成硬关断, 产生过电压击穿 IGBT。其不足之处为: 一、负栅压过低, 降低了 IGBT 的可靠性; 二、没有过流信号锁定功能, 一旦发生过流故障, 并不能在当前工作周期内实现延时保护关断。

另外, IR 系列、M579 系列和 VC37 系列模块驱动器的原理与 EXB841 类似, 此处不再赘述, 可参阅文献 [12]、[13]、[14]和[15].

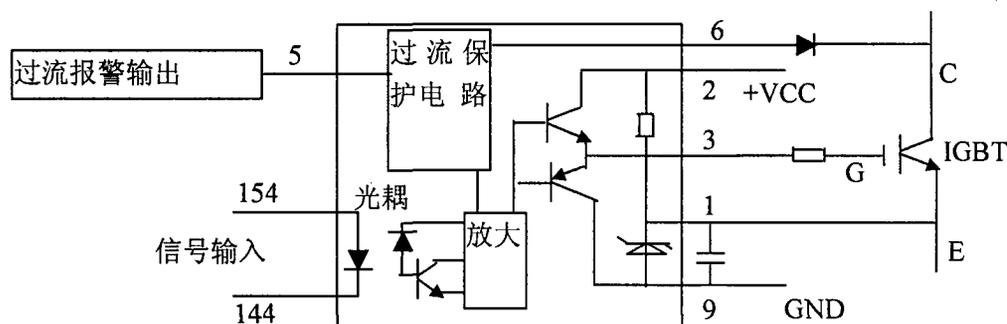


图 2 EXB841 系列模块驱动过流保护电路图

3 结束语

以上介绍了几种 IGBT 驱动过流保护电路. 分离元件驱动过流保护电路复杂, 但设计灵活、保护功能较全面, 模块驱动过流保护电路使电路的设计简化并具备了一定的保护功能, 但这些保护功能是有限的, 因此应用时, 还要考虑扩展其功能. 至于实际应用中采用哪一种方法, 应视实际情况而言.

参考文献:

- [1] 张立. 现代电力电子技术基础 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [2] 林渭勋. 电力电子技术基础[M]. 北京: 机械工业出版社, 1990.
- [3] 杨志, 刘建政, 赵争鸣, 等. 用于三电平逆变器中的 IGBT 驱动保护电路设计[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(4): 42-44.
- [4] 郝润科, 杨一波. 绝缘栅双极型晶体管(IGBT)驱动及保护电路的研究[J]. 上海理工大学学报, 2004, 26(3): 283-285.
- [5] 王强, 刘皓, 陈军. IGBT 驱动保护电路的改良设计[J]. 电子工程师, 2004, 30(10): 41-43.
- [6] 邱关源. 电路[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [7] 王永, 沈饶华. 一种简单的 IGBT 驱动和过流保护电路[J]. 电测和仪表, 2004, 41(4): 25-27.
- [8] 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): 55-57.
- [9] 刘建芳. IGBT 驱动保护电路的研究[J]. 青岛化工学院学报, 2001, 22(4): 392-394.
- [10] 王威, 李亮, 方昕, 等. 高压大功率 IGBT 的驱动保护方案研究[J]. 通信电源技术, 2005, 22(10): 11-13.
- [11] 胡雪峰, 侯漠. IGBT 集成驱动保护模块的分析、比较与选用[J]. 机床电器, 2004, (3): 43-44.
- [12] 李振民. IGBT 驱动与短路保护电路研究[J]. 电测与仪表, 2002, (6): 48-50.
- [13] 陈治明. 电力电子器件基础[J]. 北京: 机械工业出版社, 1992.
- [14] 刘振东. 一种实用的逆变桥功率开关管门极关断箝位电路[J]. 电子技术应用, 2004, (1): 22-23.
- [15] 赵渝青. 简单实用的 IGBT 保护电路[J]. 电气开关, 2005, (11): 19-20.

Study on Drive and Over-current Protection Circuit of High-power IGBT

CAI Bing, WANG Pei-Yuan

(Department of Physics, Xiangfan University, Xiangfan 441053, China)

Abstract: According to the problem of drive and overcurrent protection circuit of IGBT, the separate component drive and overcurrent protection circuit and module drive and overcurrent protection circuit are pointed out. The two circuits are put forward, and then their principles of word are analysed in the paper, and the advantages and disadvantages are given out.

Key words: IGBT; Separate component drive and overcurrent protection circuit; Module drive and overcurrent protection circuit