

浅析各种 IGBT 驱动电路和 IGBT 保护方法

保证 IGBT 的可靠工作，驱动电路起着至关重要的作用，本文讨论 IGBT 驱动电路和 IGBT 的保护，包括驱动电路 EXB841/840、M57959L/M57962L 厚膜驱动电路、2SD315A 集成驱动模块、IGBT 短路失效机理和 IGBT 过流保护方法。

驱动电路的作用是将单片机输出的脉冲进行功率放大，以驱动 IGBT。保证 IGBT 的可靠工作，驱动电路起着至关重要的作用，对 IGBT 驱动电路的基本要求如下：

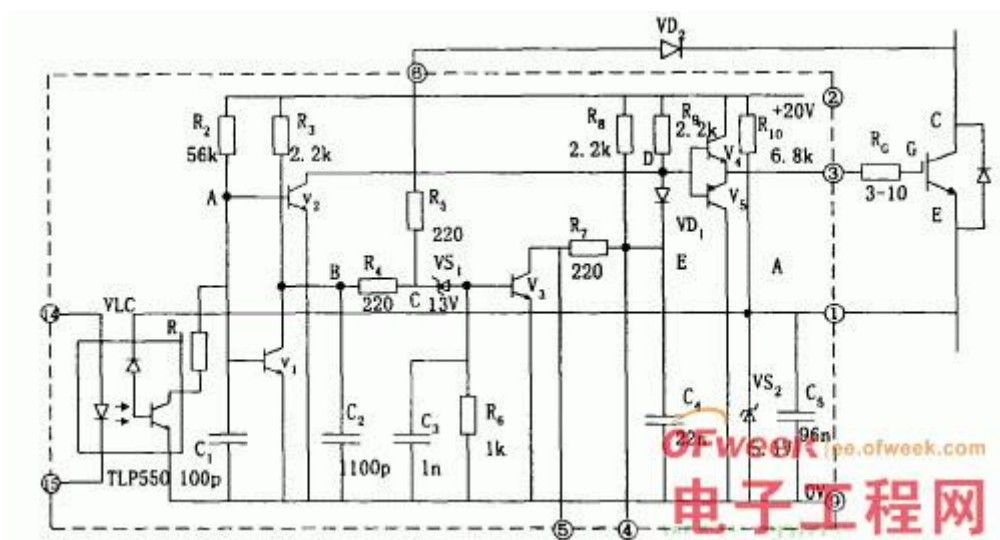
- (1) 提供适当的正向和反向输出电压，使 IGBT 可靠的开通和关断。
- (2) 提供足够大的瞬态功率或瞬时电流，使 IGBT 能迅速建立栅控电场而导通。
- (3) 尽可能小的输入输出延迟时间，以提高工作效率。
- (4) 足够高的输入输出电气隔离性能，使信号电路与栅极驱动电路绝缘。
- (5) 具有灵敏的过流保护能力。

第一种驱动电路 EXB841/840

EXB841 工作原理如图 1, 当 EXB841 的 14 脚和 15 脚有 10mA 的电流流过 1us 以后 IGBT 正常开通, VCE 下降至 3V 左右, 6 脚电压被钳制在 8V 左右, 由于 VS1 稳压值是 13V, 所以不会被击穿, V3 不导通, E 点的电位约为 20V, 二极管 VD 截止, 不影响 V4 和 V5 正常工作。

当 14 脚和 15 脚无电流流过, 则 V1 和 V2 导通, V2 的导通使 V4 截止、V5 导通, IGBT 栅极电荷通过 V5 迅速放电, 引脚 3 电位下降至 0V, 是 IGBT 栅一射间承受 5V 左右的负偏压, IGBT 可靠关断, 同时 VCE 的迅速上升使引脚 6 “悬空”. C2 的放电使得 B 点电位为 0V, 则 VS1 仍然不导通, 后续电路不动作, IGBT 正常关断。

如有过流发生, IGBT 的 VCE 过大使得 VD2 截止, 使得 VS1 击穿, V3 导通, C4 通过 R7 放电, D 点电位下降, 从而使 IGBT 的栅一射间的电压 UGE 降低, 完成慢关断, 实现对 IGBT 的保护。由 EXB841 实现过流保护的过程可知, EXB841 判定过电流的主要依据是 6 脚的电压, 6 脚的电压不仅与 VCE 有关, 还和二极管 VD2 的导通电压 Vd 有关。



典型接线方法如图 2, 使用时注意以下几点:

a、 IGBT 栅-射极驱动回路往返接线不能太长 (一般应该小于 1m), 并且应该采用双绞线接法, 防止干扰。

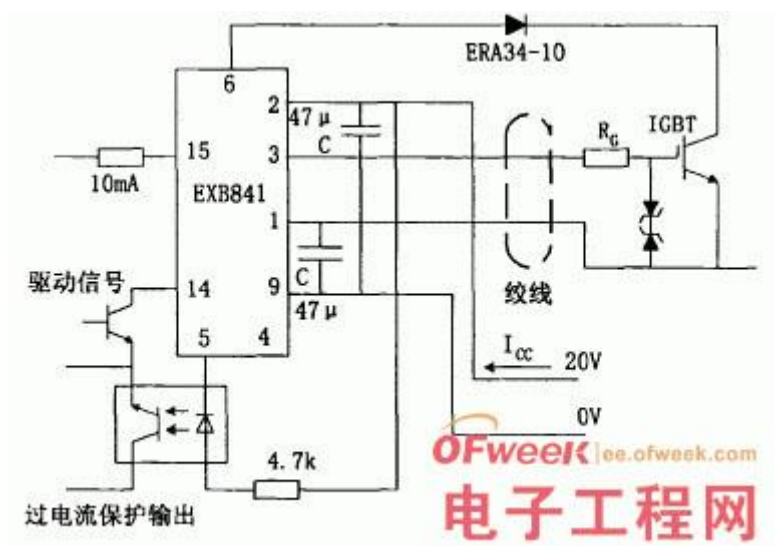
b、 由于 IGBT 集电极产生较大的电压尖脉冲, 增加 IGBT 栅极串联电阻 R_G 有利于其安全工作。但是栅极电阻 R_G 不能太大也不能太小, 如果 R_G 增大, 则开通关断时间延长, 使得开通能耗增加; 相反, 如果 R_G 太小, 则使得 di/dt 增加, 容易产生误导通。

c、 图中电容 C 用来吸收由电源连接阻抗引起的供电电压变化, 并不是电源的供电滤波电容, 一般取值为 47 F。

d、 6 脚过电流保护取样信号连接端, 通过快恢复二极管接 IGBT 集电极。

e、 14、15 接驱动信号, 一般 14 脚接脉冲形成部分的地, 15 脚接输入信号的正端, 15 端的输入电流一般应该小于 20mA, 故在 15 脚前加限流电阻。

f、 为了保证可靠的关断与导通, 在栅射极加稳压二极管。



第二种 M57959L/M57962L 厚膜驱动电路

M57959L/M57962L 厚膜驱动电路采用双电源 (+15V, -10V) 供电, 输出负偏压为 -10V, 输入输出电平与 TTL 电平兼容, 配有短路/过载保护和 封闭性短路保护功能, 同时具有延时保护特性。其分别适合于驱动 1200V/100A、600V/200A 和 1200V/400A、600V/600A 及其以下的 IGBT。M57959L/M57962L 在驱动中小功率的 IGBT 时, 驱动效果和各项性能表现优良, 但当其工作在高频下时, 其脉冲前后沿变的较差, 即信号的最大传输宽度受到限制。且厚膜内部采用印刷电路板设计, 散热不是很好, 容易因过热造成内部器件的烧毁。

日本三菱公司的 M57959L 集成 IGBT 专用驱动芯片它可以作为 600V/200A 或者 1200V/100A 的 IGBT 驱动。其最高频率也达 40KHz, 采用双电源 供电 (+15V 和 -15V) 输出电流峰值为 $\pm 2A$, M57959L 有以下特点:

(1) 采用光耦实现电器隔离, 光耦是快速型的, 适合 20KHz 左右的高频开关运行, 光耦的原边已串联限流电阻, 可将 5V 电压直接加到输入 侧。

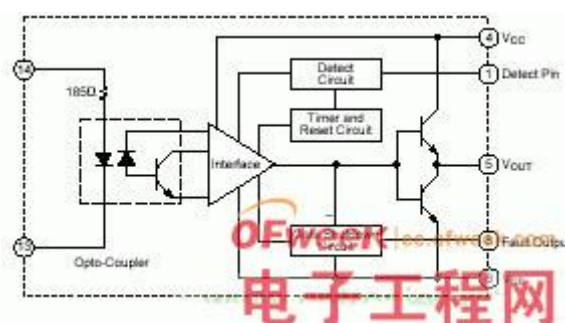
(2) 如果采用双电源驱动技术, 输出负栅压比较高, 电源电压的极限值为 +18V/-15V, 一般取 +15V/-10V。

(3) 信号传输延迟时间短, 低电平-高电平的传输延时以及高电平-低电平的传输延时时间都在 $1.5\mu s$ 以下。

(4) 具有过流保护功能。M57962L 通过检测 IGBT 的饱和压降来判断 IGBT 是否过流, 一旦过流, M57962L 就会将对 IGBT 实施软关断, 并输出过 流故障信号。

(5) M57959 的内部结构如图所示, 这一电路的驱动部分与 EXB 系列相仿, 但是过流保护方面有所不同。过流检测仍采用电压采样, 电路特 点是采用栅压缓降, 实现 IGBT 软关断,

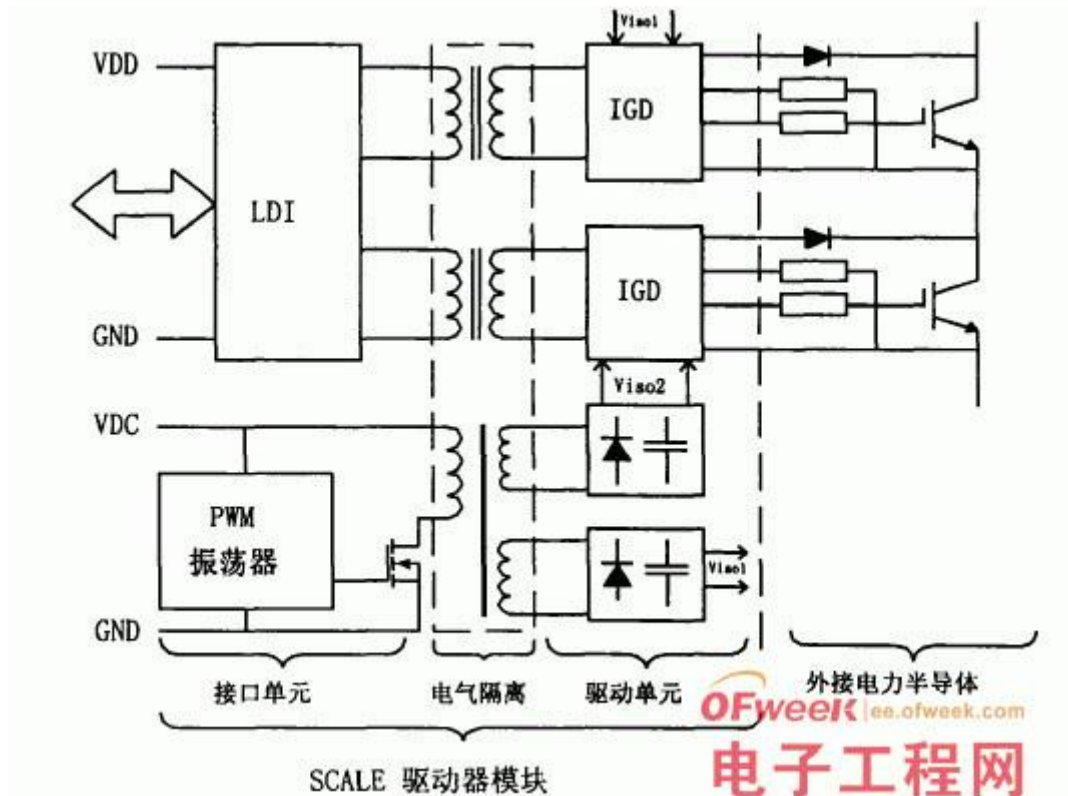
避免了关断中过电压和大电流冲击；另外，在关断过程中，输入控制信号的状态失去作用，既保护关断是在封闭状态中完成的。当保护开始时，立即送出故障信号，目的是切断控制信号，包括电路中其它有源器件。



第三种 2SD315A 集成驱动模块

集成驱动模块采用+15V 单电源供电，内部集成有过流保护电路，其最大的特点是具有安全性、智能性与易用性。2SD315A 能输出很大的峰值电流（最大瞬时输出电流可达±15A），具有很强的驱动能力和很高的隔离电压能力（4000V）。2SD315A 具有两个驱动输出通道，适合于驱动等级为 1200V/1700V 极其以上的两个单管或一个半桥式的双单元大功率 IGBT 模块。其中在作为半桥驱动器使用的时候，可以很方便地设置死区时间。

2SD315A 内部主要有三大功能模块构成，分别是 LDI（Logic To Driver Interface, 逻辑驱动转换接口）、IGD（Intelligent Gate Driver, 智能门极驱动）和输入与输出相互绝缘的 DC/DC 转换器。当外部输入 PWM 信号后，由 LDI 进行编码处理，为保证信号不受外界条件的干扰，处理过的信号在进入 IGD 前需用高频隔离变压器进行电气隔离。从隔离变压器另一侧接收到的信号首先在 IGD 单元进行解码，并把解码后的 PWM 信号进行放大（±15V/±15A）以驱动外接大功率 IGBT。当智能门极驱动单元 IGD 内的过流和短路保护电路检测到 IGBT 发生过流和短路故障时，由封锁时间逻辑电路和状态确认电路产生相应的响应时间和封锁时间，并把此时的状态信号进行编码送到逻辑控制单元 LDI。LDI 单元对传送来的 IGBT 工作状态信号进行解码处理，使之在控制回路中得以处理。为防止 2SD315A 的两路输出驱动信号相互干扰，由 DC/DC 转换器提供彼此隔离的电源供电。



2SD315 使用时注意事项:

a、工作模式

驱动模块的模式选择端 MOD 外接+15V 电源，输入引脚 RC1 和 RC2 接地，为直接工作模式。逻辑控制电平采用+15V，信号输入管脚 InA、InB 连接在一起接收来自单片机的脉冲信号。2SD315A 的 S01 和 S02 两只管脚输出通道的工作状态。当 MOD 接地时，MOD 接地。通常半桥模式都是驱动一个直流母线上的一个桥臂，为避免上下桥臂直通必须设置死区时间，在死区时间里两个管子同时关断。因此，RC 1，RC2 端子必须根据要求外接 RC 网络来产生死区时间，死区时间一般可以从 100n，到几个 ms。图中所示的 RC 1，RC2 分别连接 10k. 的电阻和 100pF 的电容器，这样产生的死区时间大约是 500ns。

b、端口 VL/Reset

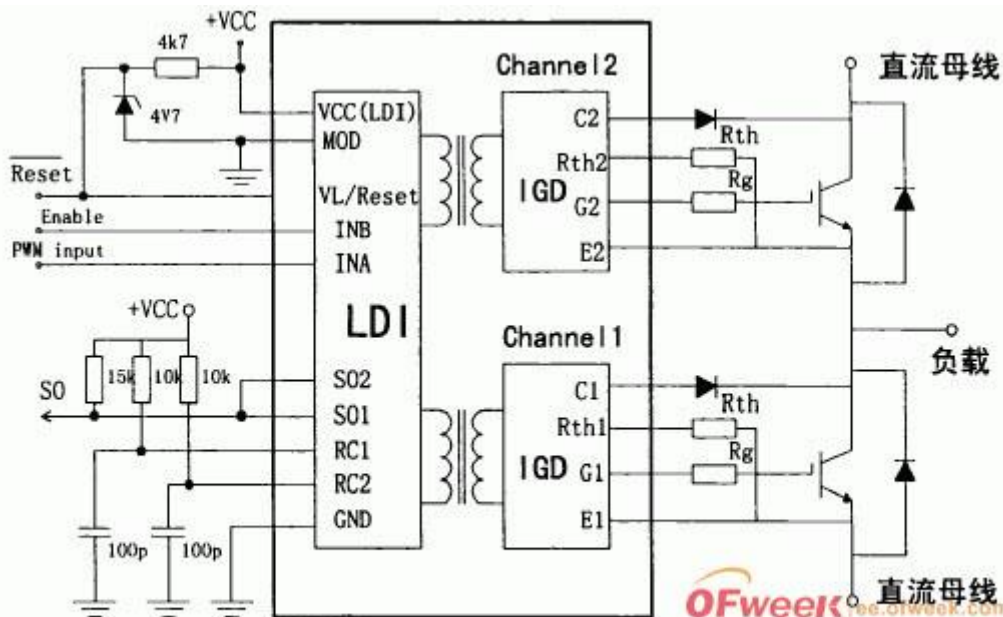
这个端子是用来定义具有施密特特性的输入 InA 和 InB 的，使得输入在 $2/3V_L$ 时开通，在 $1/3 V_L$ 时作为关断信号。当 PWM 信号是 TTL 电平时，该端子连接如图 3-5 所示，当输入 InA 和 InB 信号为 15V 的时候，该端子应该通过一个大约 1K 左右的电阻连接到++15V 电源上，这样开启和关断电压分别应该是 10v 和 5V. 另外，输入 UL/Reset 端还有另外的功能：如果其接地，则逻辑驱动接口单元 1. DI001 内的错误信息被清除。

c、门极输出端

门极输出 Gx 端子接电力半导体的门极,当 SCALE 驱动器用 15V 供电的时候,门极输出 ±15V. 负的门极电压由驱动器内部产生。使用如图 3-6 结构的电路可以实现开通和关断的速度的不一样,增加了用户使用的灵活性。

d、布局和布线

驱动器应该尽可能近的和功率半导体放在一起,这样从驱动器到电力晶体管的引线就会尽可能的短,一般来说驱动器的连线尽量不要长过 10 厘米。同时一般要求到集电极和发射极的引线采用绞合线,还有可以在 IGBT 的门极和发射极之间连接一对齐纳稳压二极管 (15~18V) 来保护 IGBT 不会被击穿。



2SD315A 半桥工作模式外围电路图

驱动模块的模式选择端 MOD 外接+15V 电源,输入引脚 RC1 和 RC2 接地,为直接工作模式。逻辑控制电平采用+15V,信号输入管脚 InA、InB 连接在一起接收来自单片机的脉冲信号,进行同步控制。2SD315A 的 S01 和 S02 两只管脚外接三极管和光耦用来向单片机输出两输出通道的工作状态,其输出端结构皆为集电极开路输出,可以通过外接上拉电阻以适用于各种电平逻辑。在管脚 S01、S02 和电源之间,以及 VisoX 和 LSX 之间加发光二极管进行故障指示。正常情况下 S01 和 S02 输出皆为高电平,上电后 D3 和 D4 先亮,延时几秒后熄灭,同时 D8 和 D15 发亮。

当检测到故障信号时,S01 和 S02 的输出电平被拉低到地,即 D3 和 D4 发亮,同时 D8 和 D15 闪烁。2SD315A 是通过监测 UCE (sat) 来判断回路是否短路和过流,当检测到一路或两路发生过流现象时,检测电路会把异常状态回馈到驱动模块,驱动模块内部会产生一个故障信号并将它锁存,锁存时间为 1s,在这段时间内,驱动模块不再输出信号,而是将两组 IGBT 及时关断予以保护。同时,状态输出管脚 S01 和 S02 的高电平被拉低,光耦 TLP521 导通,两路状态信号通过

或门 74LS32 送给单片机。为防止因关断速度太快在 IGBT 的集电极上产生很高的反电动势,在 门极输出端采用如图 3.11 所示的电路结构实现开通和关断速度的不同。开通时门极电阻为 3.4Ω ,关断时电阻为 6.8Ω ,二极管采用快恢复型,这样就使关断速度下降到安全水平。

IGBT 短路失效机理

IGBT 负载短路下的几种后果

(1) 超过热极限:半导体的本征温度极限为 250°C ,当结温超过本征温度,器件将丧失阻断能力,IGBT 负载短路时,由于短路电流时结温升高,一旦超过其热极限时,门级保护也相应失效。

(2) 电流擎住效应:正常工作电流下,IGBT 由于薄层电阻 R_s 很小,没有电流擎住现象,但在短路状态下,由于短路电流很大,当 R_s 上的压降高于 0.7V 时,使 J_1 正偏,产生电流擎住,门级便失去电压控制。

(3) 关断过电压:为了抑制短路电流,当故障发生时,控制电路立即撤去正门级电压,将 IGBT 关断,短路电流相应下降。由于短路电流大,因此,关断中电流下降率很高,在布线电感中将感生很高的电压,尤其是在器件内封装引线电感上的这种感应电压很难抑制,它将使器件有过电流变为关断过电压而失效

IGBT 过流保护方法

(1) 减压法:是指在故障出现时,降低门级电压。由于短路电流比例于外加正门级电压 U_{g1} ,因此在故障时,可将正门级电压降低。

(2) 切断脉冲方法:由于在过流时, U_{ce} 电压升高,我们利用检测集电极电压的方法来判断是否过流,如果过流,就切断触发脉冲。同时尽量采用软关断方式,缓解短路电流的下降率,避免产生过电压造成对 IGBT 的损坏。