

三相逆变器中 IGBT 的几种驱动电路的分析

明正峰, 童建利, 钟彦儒

(西安理工大学 110 信箱, 陕西 西安 710048)

摘要:对几种三相逆变器中常用的 IGBT 驱动专用集成电路进行了详细的分析,对 TLP250、EXB8 系列和 M579 系列进行了深入的讨论,给出了它们的电气特性参数和内部功能方框图,还给出了它们的典型应用电路。讨论了它们的使用要点及注意事项。对每种驱动芯片进行了 IGBT 的驱动实验,通过有关的波形验证了它们的特点。最后得出结论:IGBT 驱动集成电路的发展趋势是集过流保护、驱动信号放大功能、能够外接电源且具有很强抗干扰能力等于一体的复合型电路。

关键词:绝缘栅双极晶体管;集成电路;过流保护

Analyses of Some Drive Circuits of IGBT in Three-Phase Inverter

MING Zheng-feng, TONG Jian-li, ZHONG Yan-ru

Abstract: Some ICs in common use and for special purpose of IGBT drive in three-phase inverter are described in detail, and a deep discussion of TLP250, EXB8. . Series and M579. . Series with its electric characteristics and functional block diagrams and typical application circuits, and its using notes and attentions are given. The operating waveforms of every IC obtained by test verify their characteristics. The conclusion is achieved that the developing trend of ICs of IGBT drive is the combination of over-current protection, drive signal enlargement and high capability of interference resistance in one circuit.

Keywords: IGBT; IC; Overcurrent-protection

中图分类号:TN702

文献标识码:A

文章编号:0219-2713(2002)04-0156-06

1 前言

电力电子变换技术的发展,使得各种各样的电力电子器件得到了迅速的发展。20 世纪 80 年代,为了给高电压应用环境提供一种高输入阻抗的器件,有人提出了绝缘门极双极型晶体管(IGBT)^[1]。在 IGBT 中,用一个 MOS 门极区来控制宽基区的高电压双极型晶体管的电流传输,这就产生了一种具有功率 MOSFET 的高输入阻抗与双极型器件优越通态特性相结合的非非常诱人的器件,它具有控制功率小、开关速度快和电流处理能力大、饱和压降低等性能。在中小功率、低噪音和高性能电源、逆变器、不间断电源(UPS)和交流电机调速系统的设计中,它是目前最为常见的一种器件。

功率器件的不断发展,使得其驱动电路也在不断地发展,相继出现了许多专用的驱动集成电路。IGBT 的触发和关断要求给其栅极和基极之间加上正向电压和负向电压,栅极电压可由不同的驱动电路产生。当选择这些驱动电路时,必须基于以下的参数来进行:器件关断偏置的要求、栅极电荷的要求、耐用性要求和电源的情况。图 1 为一典型的 IGBT 驱动电路原理示意图。因为 IGBT 栅极-发射极阻抗大,故可使用

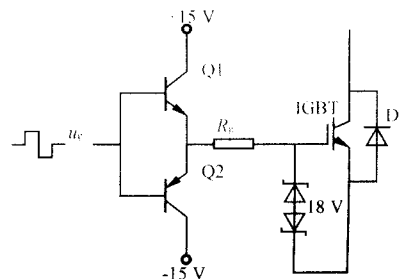


图 1 典型的 IGBT 栅极驱动电路

MOSFET 驱动技术进行触发, 不过由于 IGBT 的输入电容较 MOSFET 为大, 故 IGBT 的关断偏压应该比许多 MOSFET 驱动电路提供的偏压更高。

对 IGBT 驱动电路的一般要求^{[2][3]}:

1) 栅极驱动电压 IGBT 开通时, 正向栅极电压的值应该足够令 IGBT 产生完全饱和, 并使通态损耗减至最小, 同时也应限制短路电流和它所带来的功率应力。在任何情况下, 开通时的栅极驱动电压, 应该在 12 ~ 20 V 之间。当栅极电压为零时, IGBT 处于断态。但是, 为了保证 IGBT 在集电极 - 发射极电压上出现 dv/dt 噪声时仍保持关断, 必须在栅极上施加一个反向关断偏压, 采用反向偏压还减少了关断损耗。反向偏压应该在 -5 ~ -15 V 之间。

2) 串联栅极电阻 (R_g) 选择适当的栅极串联电阻对 IGBT 栅极驱动相当重要。IGBT 的开通和关断是通过栅极电路的充放电来实现的, 因此栅极电阻值将对 IGBT 的动态特性产生极大的影响。数值较小的电阻使栅极电容的充放电较快, 从而减小开关时间和开关损耗。所以, 较小的栅极电阻增强了器件工作的耐用性(可避免 dv/dt 带来的误导通), 但与此同时, 它只能承受较小的栅极噪声, 并可能导致栅极 - 发射极电容和栅极驱动导线的寄生电感产生振荡。

3) 栅极驱动功率 IGBT 要消耗来自栅极电源的功率, 其功率受栅极驱动负、正偏置电压的差值 ΔU_{GE} 、栅极总电荷 Q_G 和工作频率 f_s 的影响。电源的最大峰值电流 I_{CPK} 为:

$$I_{CPK} = \pm (\Delta U_{GE} / R_g)$$

电源的平均功率 P_{AV} 为:

$$P_{AV} = \Delta U_{GE} \times Q_G \times f_s$$

在本文中, 我们将对几种最新的用于 IGBT 驱动的集成电路做一个详细的介绍, 讨论其使用方法和优缺点及使用过程中应注意的问题。

2 几种用于 IGBT 驱动的综合芯片

2.1 TLP250(TOSHIBA 公司生产)

在一般较低性能的三相电压源逆变器中, 各种与电流相关的性能控制, 通过检测直流母线上流入逆变桥的直流电流即可, 如变频器中的自动转矩补偿、转差率补偿等。同时, 这一检测结果也可以用来完成对逆变单元中 IGBT 实现过流保护等功能。因此在这种逆变器中, 对 IGBT 驱动电路的要求相对比较简单, 成本也比较低。这种类型的驱动芯片主要有东芝公司生

产的 TLP250, 夏普公司生产的 PC923 等等。这里主要针对 TLP250 做一介绍。

TLP250 包含一个 GaAlAs 光发射二极管和一个集成光探测器, 8 脚双列封装结构。适合于 IGBT 或电力 MOSFET 栅极驱动电路。图 2 为 TLP250 的内部结构简图, 表 1 给出了其工作时的真值表。

表 1 TLP250 工作时的真值表

	Tr1	Tr2
输入	通	断
LED	断	通

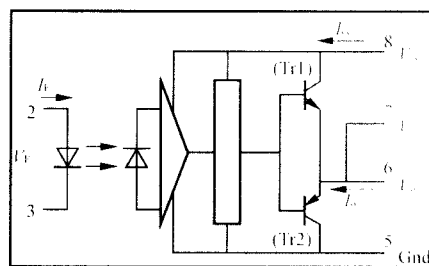


图 2 TLP250 的内部结构简图

TLP250 的典型特征如下:

- 1) 输入阈值电流 (I_F): 5 mA (最大);
- 2) 电源电流 (I_{CC}): 11 mA (最大);
- 3) 电源电压 (V_{CC}): 10 ~ 35 V;
- 4) 输出电流 (I_O): ± 0.5 A (最小);
- 5) 开关时间 (t_{PLH} / t_{PHL}): 0.5 μ s (最大);
- 6) 隔离电压: 2500 V_{rms} (最小)。

表 2 给出了 TLP250 的开关特性, 表 3 给出了 TLP250 的推荐工作条件。

表 2 TLP250 的电气特性

特性	符号/单位	测试条件	最小	标准	最大
传输延迟时间	$t_{pLH} / \mu s$	$I_F = 5$ mA	—	0.15	0.5
传输延迟时间	$t_{pHL} / \mu s$	$V_{CC1} = +15$ V,	—	0.15	0.5
输出上升时间	$t_r / \mu s$	$V_{FE1} = -15$ V	—	—	—
输出下降时间	$t_f / \mu s$	$R_L = 200 \Omega$	—	—	—
高态输出时共式隔变抗扰度	$C_{MH} / (V / \mu s)$	$V_{CM} = 600$ V, $I_F = 8$ mA, $V_{CC} = 30$ V, $T_a = 25$ °C	-5 000	—	—
低态输出时共式隔变抗扰度	$C_{ML} / (V / \mu s)$	$V_{CM} = 600$ V, $I_F = 0$ mA, $V_{CC} = 30$ V, $T_a = 25$ °C	5 000	—	—

表 3 TLP250 的推荐工作条件

特性	符号/单位	最小	标准	最大
输入电流开通	$I_{F(on)} / mA$	7	8	10
输入电压关断	$V_{F(off)} / V$	0	—	0.8
电源电压	V_{CC} / V	15	—	30 20
峰值输出电流	$(I_{OPH} / I_{OPL}) / A$	—	—	± 0.5
工作温度	$T_{opr} / ^\circ C$	20	25	70 85

注:使用 TLP250 时应在管脚 8 和 5 间连接一个 $0.1\ \mu\text{F}$ 的陶瓷电容来稳定高增益线性放大器的工作,提供的旁路作用失效会损坏开关性能,电容和光耦之间的引线长度不应超过 $1\ \text{cm}$ 。

图 3 和图 4 给出了 TLP250 的两种典型的应用电路。

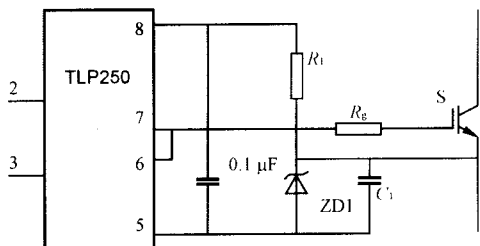


图 3 用于额定值 $1200\ \text{V}/50\ \text{A}$ 以下 IGBT 的驱动

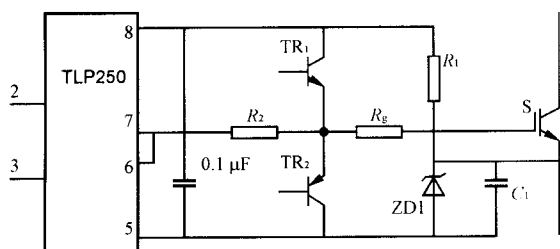


图 4 用于额定值 $1200\ \text{V}/50\ \text{A}$ 以上 IGBT 的驱动

在图 4 中, TR_1 和 TR_2 的选取与用于 IGBT 驱动的栅极电阻有直接的关系,例如,电源电压为 $24\ \text{V}$ 时, TR_1 和 TR_2 的 $I_{\text{cmx}} \geq 24/R_g$ 。

图 5 给出了 TLP250 驱动 IGBT 时, $1200\ \text{V}/200\ \text{A}$ 的 IGBT 上电流的实验波形 ($50\ \text{A}/10\ \mu\text{s}$)。可以看出,由于 TLP250 不具备过流保护功能,当 IGBT 过流时,通过控制信号关断 IGBT, IGBT 中电流的下降很陡,且有一个反向的冲击。这将会产生很大的 di/dt 和开关损耗,而且对控制电路的过流保护功能要求很高。

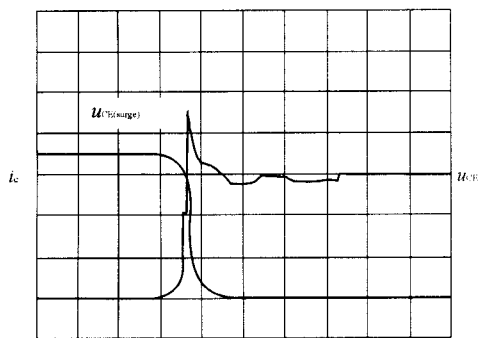


图 5 TLP250 驱动 IGBT 时电流波形

TLP250 使用特点:

1) TLP250 输出电流较小,对较大功率 IGBT 实施驱动时,需要外加功率放大电路。

2) 由于流过 IGBT 的电流是通过其它电路检测来完成的,而且仅仅检测流过 IGBT 的电流,这就有可能对于 IGBT 的使用效率产生一定的影响,比如 IGBT 在安全工作区时,有时出现的提前保护等。

3) 要求控制电路和检测电路对于电流信号的响应要快,一般由过电流发生到 IGBT 可靠关断应在 $10\ \mu\text{s}$ 以内完成。

4) 当过电流发生时, TLP250 得到控制器发出的关断信号,对 IGBT 的栅极施加一负电压,使 IGBT 硬关断。这种主电路的 dv/dt 比正常开关状态下大了许多,造成了施加于 IGBT 两端的电压升高很多,有时就可能造成 IGBT 的击穿。

2.2 EXB8. . Series (FUJI ELECTRIC 公司生产)

随着有些电气设备对三相逆变器输出性能要求的提高及逆变器本身的原因,在现有的许多逆变器中,把逆变单元 IGBT 的驱动与保护和主电路电流的检测分别由不同的电路来完成。这种驱动方式既提高了逆变器的性能,又提高了 IGBT 的工作效率,使 IGBT 更好地在安全工作区工作。这类芯片有富士公司的 EXB8. . Series、夏普公司的 PC929 等。在这里,我们主要针对 EXB8. . Series 做一介绍。

EXB8. . Series 集成芯片是一种专用于 IGBT 的集驱动、保护等功能于一体的复合集成电路。广泛用于逆变器和电机驱动用变频器、伺服电机驱动、UPS、感应加热和电焊设备等工业领域。具有以下的特点:

1) 不同的系列(标准系列可用于达到 $10\ \text{kHz}$ 开关频率工作的 IGBT,高速系列可用于达到 $40\ \text{kHz}$ 开关频率工作的 IGBT)。

2) 内置的光耦可隔离高达 $2500\ \text{V}/\text{min}$ 的电压。

3) 单电源的供电电压使其应用起来更为方便。

4) 内置的过流保护功能使得 IGBT 能够更加安全地工作。

5) 具有过流检测输出信号。

6) 单列直插式封装使得其具有高密度的安装方式。

常用的 EXB8. . Series 主要有:标准系列的 EXB850 和 EXB851,高速系列的 EXB840 和 EXB841。其主要应用场合如表 4 所示。

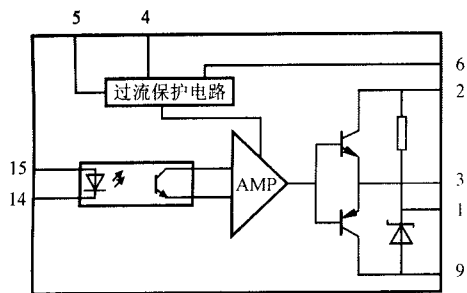
表 4 EXB8. . Series 的主要应用场合

IGBT	600 V IGBT 的驱动		1200 V IGBT 的驱动	
	$\leq 150\ \text{A}$	$\leq 400\ \text{A}$	$\leq 75\ \text{A}$	$\leq 300\ \text{A}$
标准系列	EXB850	EXB851	EXB850	EXB851
高速系列	EXB840	EXB841	EXB840	EXB841

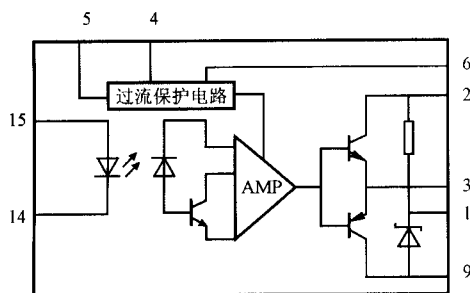
注:1)标准系列:驱动电路中的信号延迟 $\leq 4 \mu\text{s}$

2)高速系列:驱动电路中的信号延迟 $\leq 1.5 \mu\text{s}$

图 6 给出了 EXB8...Series 的功能方框图。



(a) EXB850, 851



(b) EXB840, 841

图 6 EXB8...Series 功能方框图

表 5 给出了 EXB8...Series 的电气特性。

表 5 EXB8...Series 的电气特性

项目	符号/单位	条件	额定参数					
			EXB840、EXB841			EXB850、EXB851		
			最小值	典型值	最大值	最小值	典型值	最大值
导通时间 1	$t_{on}/\mu\text{s}$	$V_{CC} = 20 \text{ V}$, $I_F = 5 \text{ mA}$	—	—	1.5	—	—	2.0
导通时间 2	$t_{off}/\mu\text{s}$	$V_{CC} = 20 \text{ V}$, $I_F = 5 \text{ mA}$	—	—	1.5	—	—	4.0
过流保护电压	U_{ocp}/V	$V_{CC} = 20 \text{ V}$, $I_F = 5 \text{ mA}$	—	7.5	—	—	7.5	—
过流保护延迟	$t_{ocp}/\mu\text{s}$	$V_{CC} = 20 \text{ V}$, $I_F = 5 \text{ mA}$	—	—	10	—	—	10
报警延迟	$t_{ALM}/\mu\text{s}$	$V_{CC} = 20 \text{ V}$, $I_F = 5 \text{ mA}$	—	—	1	—	—	1
反向偏置电源电压	U_{RR}/V	$V_{CC} = 20 \text{ V}$	—	5	—	—	5	—

表 6 给出了 EXB8...Series 工作时的推荐工作条件。

表 6 EXB8...Series 工作时的推荐工作条件

项目	符号/单位	EXB850	EXB851	EXB840	EXB841
供电电压	V_{CC}/V	20 ± 1	20 ± 1	20 ± 1	20 ± 1
输入电流	I_m/mA	5	5	10	10

图 7 给出了 EXB8...Series 的典型应用电路。

EXB8...Series 使用不同的型号, 可以达到驱动

控制电路电路板

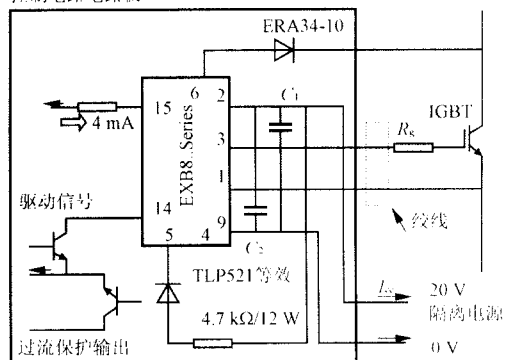


图 7 EXB8...Series 的典型应用电路

电流高达 400 A, 电压高达 1200 V 的各种型号的 IGBT。由于驱动电路的信号延迟时间分为两种: 标准型 (EXB850、EXB851) $\leq 4 \mu\text{s}$, 高速型 (EXB840、EXB841) $\leq 1 \mu\text{s}$, 所以标准型的 IC 适用于频率高达 10 kHz 的开关操作, 而高速型的 IC 适用于频率高达 40 kHz 的开关操作。在应用电路的设计中, 应注意以下几个方面的问题:

- IGBT 栅 - 射极驱动电路接线必须小于 1 m;
- IGBT 栅 - 射极驱动电路接线应为双绞线;
- 如想在 IGBT 集电极产生大的电压尖脉冲, 那么增加 IGBT 栅极串联电阻 (R_g) 即可;

——应用电路中的电容 C_1 和 C_2 取值相同, 对于 EXB850 和 EXB840 来说, 取值为 $33 \mu\text{F}$, 对于 EXB851 和 EXB841 来说, 取值为 $47 \mu\text{F}$ 。该电容用来吸收由电源接线阻抗而引起的供电电压变化。它不是电源滤波器电容。

EXB8...Series 的使用特点:

1) EXB8...Series 的驱动芯片是通过检测 IGBT 在导通过程中的饱和压降 U_{ce} 来实施对 IGBT 的过电流保护的。对于 IGBT 的过电流处理完全由驱动芯片自身完成, 对于电机驱动用的三相逆变器实现无跳闸控制有较大的帮助。

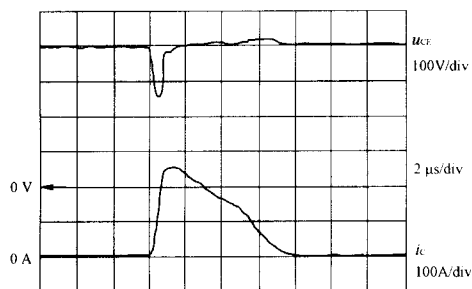
2) EXB8...Series 的驱动芯片对 IGBT 过电流保护的处理采用了软关断方式, 因此主电路的 dv/dt 比硬关断时小了许多, 这对 IGBT 的使用较为有利, 是值得重视的一个优点。

3) EXB8...Series 驱动芯片内集成了功率放大电路, 这在一定程度上提高了驱动电路的抗干扰能力。

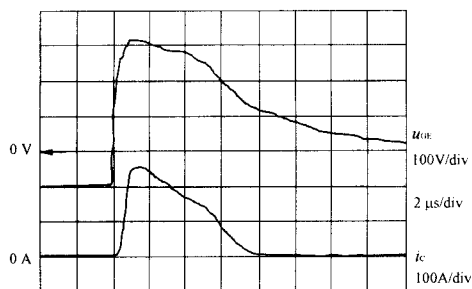
4) EXB8...Series 的驱动芯片最大只能驱动 1200V/300 A 的 IGBT, 并且它本身并不提倡外加功率放大电路, 另外, 从图 7 中可以看出, 该类芯片为单电源供电, IGBT 的关断负电压信号是由芯片内部产生的

-5 V 信号,容易受到外部的干扰。因此对于 300 A 以上的 IGBT 或者 IGBT 并联时,就需要考虑别的驱动芯片,比如三菱公司的 M57962L 等。

图 8 给出了 EXB841 驱动 IGBT 时,过电流情况下的实验波形。可以看出,正如前面介绍过的,由于 EXB8..Series 芯片内部具备过流保护功能,当 IGBT 过流时,采用了软关断方式关断 IGBT,所以 IGBT 中电流是一个较缓的斜坡下降,这样一来,IGBT 关断时的 di/dt 明显减少,这在一定程度上减小了对控制电路的过流保护性能的要求。



(a) u_{CE} 与 i_c 的波形



(b) u_{CE} 与 i_c 的波形

图 8 EXB841 驱动 IGBT 时过电流情况下实验波形

2.3 M579..Series (MITSUBISHI 公司生产)

M579..Series 是日本三菱公司为 IGBT 驱动提供的一种 IC 系列,表 7 给出了这种系列的几种芯片的基本应用特性(其中有 * 者为芯片内部含有 Booster 电路)。

在 M579..Series 中,以 M57962L 为例做出一般的解释。随着逆变器功率的增大和结构的复杂,驱动信号的抗干扰能力显得尤为重要,比较有效的办法就是提高驱动信号关断 IGBT 时的负电压,M57962L 的负电源是外加的(这点和 EXB8..Series 不同),所以实现起来比较方便。它的功能框图和图 6 所示的 EXB8..Series 功能框图极为类似,在此不再赘述。图 9 给出了 M57962L 在驱动大功率 IGBT 模块时的典型

M579..Series	峰值输出电流	短路保护电路	优化应用范围	
			600 V 以下的 IGBT	1 200 V 以下的 IGBT
M57957L	2	无	≤ 100	≤ 50
M57958L	5	无	≤ 400	≤ 200
M57959L	2	有	≤ 100	≤ 50
M57962L	5	有	≤ 400	≤ 200
M57958L*	20	无	≤ 600	$\leq 1\ 000$
M57962L*	20	有	≤ 600	$\leq 1\ 000$

电路图。在这种电路中,NPN 和 PNP 构成的电压提升电路选用快速晶体管 ($t_r \leq 200$ ns),并且要有足够的电流增益以承载需要的电流。

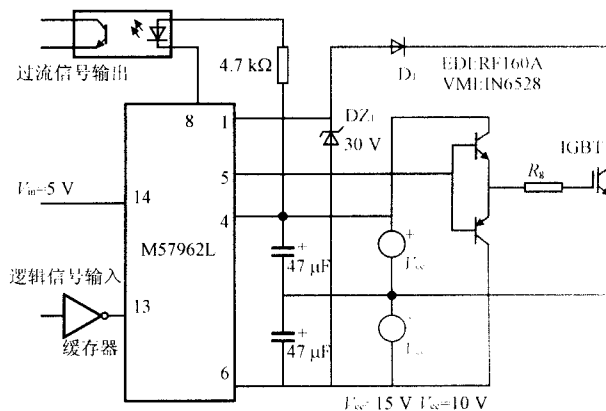


图 9 M57962L 驱动大功率 IGBT 模块时的典型电路图

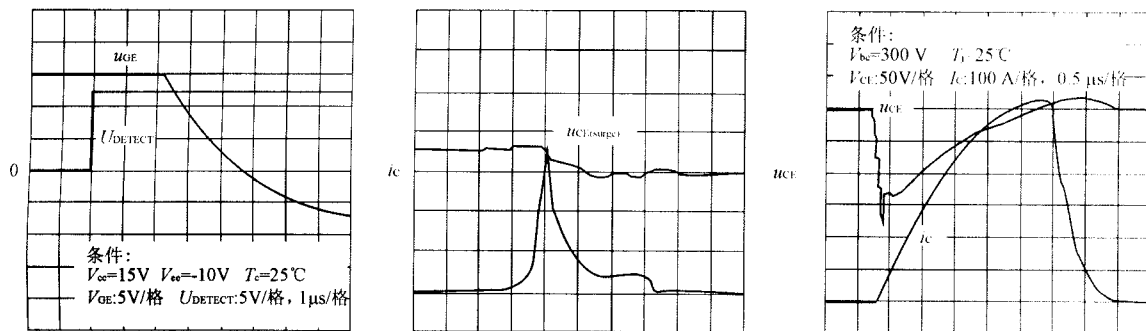
在使用 M57962L 驱动大功率 IGBT 模块时,应注意以下三个方面的问题:

1) 驱动芯片的最大输出电流峰值受栅极电阻 R_g 的最小值限制,例如,对于 M57962L 来说, R_g 的允许值在 5Ω 左右,这个值对于大功率的 IGBT 来说高了一些,且当 R_g 较高时,会引起 IGBT 的开关上升时间 $t_{d(on)}$ 、下降时间 $t_{d(off)}$ 以及开关损耗的增大,在较高开关频率 (5 kHz 以上) 应用时,这些附加损耗是不可接受的。

2) 即便是这些附加损耗和较慢的开关时间可以被接受,驱动电路的功耗也必须考虑,当开关频率高到一定程度时 (高于 14 kHz),会引起驱动芯片过热。

3) 驱动电路缓慢的关断会使大功率 IGBT 模块的开关效率降低,这是因为大功率 IGBT 模块的栅极寄生电容相对比较大,而驱动电路的输出阻抗不够低。还有,驱动电路缓慢的关断还会使大功率 IGBT 模块需要较大的吸收电容。

以上这三种限制可能会产生严重的后果,但通过



(a) 过流信号输出以后门极电压缓慢下降 (b) u_{CE} 与 i_C 的软关断过程 (c) 短路保护过程

图 10 M57962L 驱动 IGBT 时过电流情况下的实验波形

附加的 Booster 电路都可以加以克服,如图 9 所示。图 10 给出了 M57962L 驱动 IGBT 时过电流情况下的实验波形。

从图 10(a)可以看出,在 IGBT 过流信号输出以后,门极电压会以一个缓慢的斜率下降。图 10(b) 及图 10(c)给出了 IGBT 短路时的软关断过程(集电极-发射极之间的电压 u_{CE} 和集电极电流 i_C 的软关断波形)。

3 结语

随着电力电子技术的快速发展,三相逆变器的应用变得非常广泛。近年来,随着 IGBT 制造技术的提高,相继出现了电压等级越来越高、额定功率越来越大的单管、两单元 IGBT 模块及六单元 IGBT 模块,同时性能价格比的提高使得 IGBT 在三相逆变器的设计中占有很大的比重,成为许多设计人员首选的功率器件。随之而来的是 IGBT 的驱动芯片也得到了很大的发展,设计人员、生产厂家都给予了高度重视,小型

化、多功能集成化成为人们不断追求的目标。相信随着制造技术的发展,将会研制出更多更好的 IGBT 驱动芯片,并得到广泛的应用。

参考文献

- [1] B. K. 博斯编,姜建国译. 电力电子学与变频传动[M]. 江苏徐州:中国矿业大学出版社,1999.
- [2] 秦贤满编著. 电力半导体器件标准应用指南[M]. 北京:中国标准出版社,2000.
- [3] 日本三菱电气. 第三代 IGBT 和智能功率模块应用手册及 DATA BOOK, 1998.

作者简介

明正峰(1962-),男,博士研究生。1988年在西安理工大学(原陕西机械学院)自动控制专业取得学士学位,1993年在西安科技学院(原西安矿业学院)电气自动化专业取得硕士学位。1993年工作于西安仪表厂,主任工程师,参与和负责智能控制仪表和集散控制系统的开发应用研究。1998年开始成为西安理工大学电力电子与电力传动专业博士研究生。研究方向为三相 PWM 软开关变频技术、电力传动、高频电源及控制装置及系统。