

大功率 IGBT 驱动电路的设计

何秀华, 杨景红

(南京电子技术研究所, 江苏省南京市 210013)

摘要: 大功率 IGBT(绝缘栅双极晶体管)在现代雷达发射机,特别是全固态调制器、高压开关电源中得到广泛应用。其驱动电路要求驱动能力强、保护迅速有效。介绍了互感器触发方式的大功率 IGBT 驱动电路的设计。该电路具有输出电阻低、电流增益高等优点,并具备快速过流检测和保护功能,解决了 IGBT 高低电位隔离以及多个 IGBT 同步驱动问题。实验表明,该驱动电路不仅满足设计要求,而且工作稳定可靠,通用性强,可广泛应用于全固态调制器和高压开关电源。

关键词: 全固态调制器; IGBT; 驱动电路; 过流保护

中图分类号: TN761

0 引言

近年来,随着大功率半导体开关器件发展和生产工艺的日益成熟,特别是 20 世纪 80 年代 IGBT(绝缘栅双极晶体管)的出现,逐步实现了采用 IGBT 做开关管的全固态大功率调制器和高压开关电源。IGBT 是 MOS 与 BJT 的复合型功率器件,这种器件属于场控功率管,有着开关速度快、耐压高、开关功率大、管压降小等特点。

采用 IGBT 作为开关器件的调制器和高压电源,不但具有效率高、体积小、重量轻、可靠性高、易模块化设计等优点,而且没有电子管的寿命问题,使用和维护费用也随之下降。IGBT 的驱动电路要求驱动能力强、保护迅速有效。

目前,正在进行大功率全固态调制器课题研究。调制器采用 3.3 kV/1.2 kA 的 IGBT 作为开关管,单个模块要求:输出脉冲电压 2 kV,脉冲电流 2 kA,脉冲上升时间 $\leq 1 \mu\text{s}$,脉冲下降时间 $\leq 2 \mu\text{s}$,平顶宽度 $\geq 2 \mu\text{s}$,脉冲重复频率为 50 Hz。

根据要求,为解决 IGBT 的驱动和保护问题,我们对此进行了研究,并设计了 3.3 kV/1.2 kA IGBT 的驱动和保护电路。

1 设计依据与要求

该 IGBT 是一种大功率固态开关管。图 1 和图 2 分别是所使用的 FZ1200R33KF2 型 IGBT 典型情况下的输出特性。

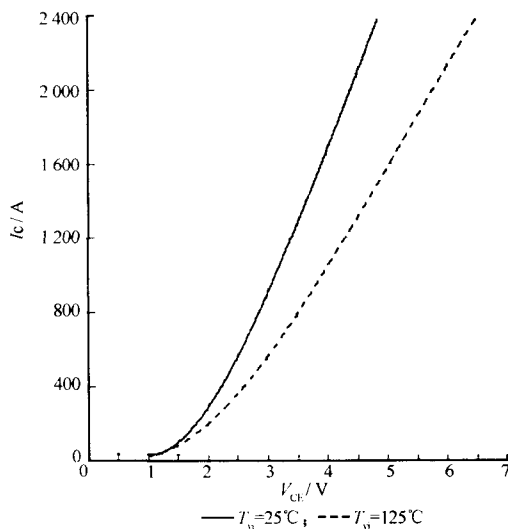


图 1 $V_{GE} = 15 \text{ V}$ 时的输出特性

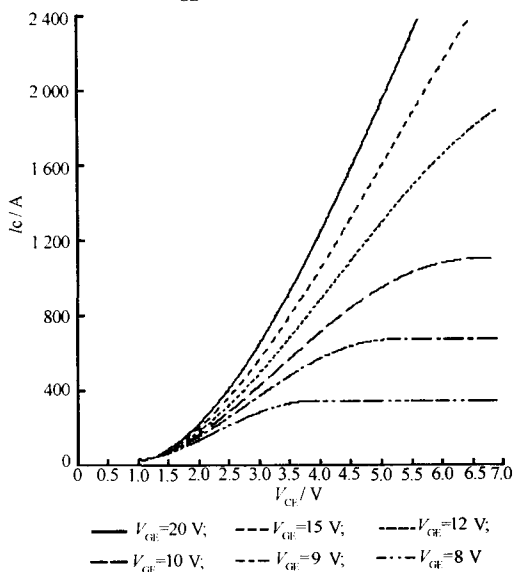


图 2 $T_J = 125^\circ\text{C}$ 时的输出特性

图3是 FZ1200R33KF2 型 IGBT 典型情况下的转移特性,图4是 FZ1200R33KF2 型 IGBT 典型情况下的开关损耗。

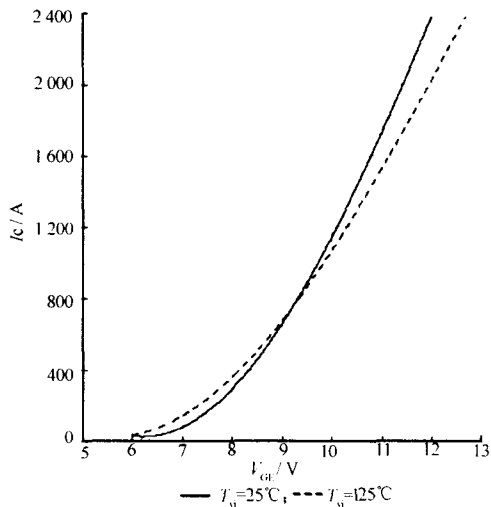


图3 $V_{CE} = 20 \text{ V}$ 时的转移特性

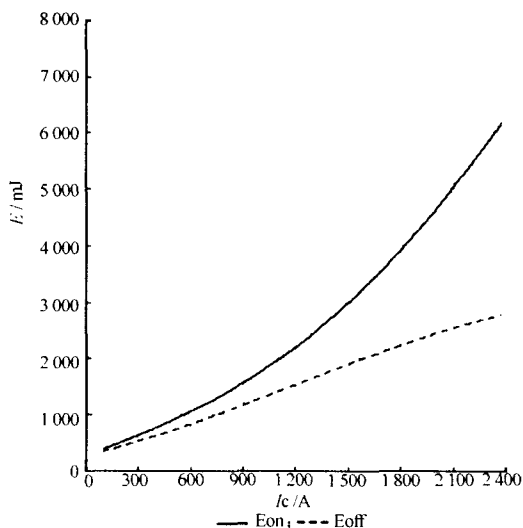


图4 $V_{CE} = \pm 15 \text{ V}$, $R_{Gon} = 0.91 \Omega$, $R_{Goff} = 1.2 \Omega$, $V_{CE} = 1800 \text{ V}$, $T_{vj} = 125^\circ\text{C}$, $C_{GE} = 220 \text{ nF}$ 时的开关损耗

为满足系统要求,IGBT 驱动电路的设计应充分考虑以下7个方面:

a) 能向 IGBT 提供适当的正向栅压,具有栅压限幅电路,保护栅极不被击穿。综合考虑,选择栅极驱动电压为 20 V 。同时,在靠近 IGBT 的 GE 之间加双 20 V 稳压二极管,以钳位 dv/dt 引起的耦合到栅极的电压尖峰。

b) 保证一定的驱动电流及功率。由于 IGBT 具有 MOS 门极构造,在开关时必须对门极进行充放电使其产生门极电流。驱动电流峰值 I_{GP} 可近似计算如下:

$$I_{GP} = \frac{(+V_{GE}) + |-V_{GE}|}{R_G + R_g} \quad (1)$$

式中: $+V_{GE}$ 为正偏电压; $-V_{GE}$ 为反偏电压; R_G 为外接

驱动电阻; R_g 为 IGBT 内部电阻。

驱动功率计算如下:

$$P_{on} = \frac{f(Q_g | +V_{GE}| + C_{ies} |-V_{GE}|^2)}{2} \quad (2)$$

式中: f 为开关频率; Q_g 为门极电压充至 $+V_{GE}$ 时的电荷量; C_{ies} 为门极输入电容。

c) 选择合适的栅极驱动电阻 R_G 。 R_G 对 IGBT 的动态性能有较大的影响, R_G 越小,栅极电容放电越快,开关时间较快,开关损耗就比较低。但发生短路时,施加在集电极-栅极电容上的 di/dt 和 dv/dt 可引起栅极电路有电流流过,若电流足够大,则在栅极电阻上产生电压,严重的后果是引起 IGBT 误导通,或在栅极驱动电路产生振荡。此外, R_G 比较小时,使得 IGBT 开通 di/dt 变大,从而引起较高的 dv/dt 。相反, R_G 较大时降低了 IGBT 的开关速度,增加了开关损耗。因此,选择 R_G 时需要综合考虑。

d) 为适应多个 IGBT 模块串联,需考虑触发信号同步问题。设计采用互感器触发形式,信号采用电流耦合传输,主触发来自于同一触发电路,有效地解决了触发信号同步问题。

e) 驱动电路可靠,具备自我保护能力,有足够的输入输出电隔离能力。IGBT 损坏时,集电极上的高电压往往会通过已被破坏的栅极窜入驱动电路,从而破坏其中的某些元件。设计的驱动电路采用互感器等分立器件,具有电隔离能力可以保证设备的正常工作,同时有利于调试、维修人员的人身安全。

f) 当 IGBT 处于负载短路或过流状态时,能在 IGBT 允许时间内关断高压,实现 IGBT 的可靠保护。

g) 电路简单,成本低。

2 IGBT 驱动电路

图5为采用互感器等分立元件构成的 IGBT 驱动电路原理图。

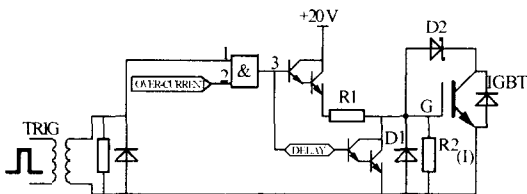


图5 驱动电路原理

该电路的特点是采用晶体三极管组成复合管放大电路,特点是输出电阻低,可有效减小负载变化对电压增益的影响;具备较大的电流增益,以满足 IGBT 门极驱动功率的要求。

由于要求多个模块串联叠加,采用互感器驱动方

式,既解决了同步问题,同时也避免了光耦驱动方式易产生的误触发问题。驱动电路输出正向电压 20 V, D1 用来钳制栅极与发射极之间的电压,确保 IGBT 安全可靠的工作; D2 由 6 个稳压管组成,用以过压保护; R2 为 5.1 k Ω 电阻,用来泄放 IGBT 结电容的电压。采用互感器检测负载电流,利用光耦传输到驱动电路前级,超过比较值后过流保护即动作。该驱动电路较简洁,具有过流检测、保护功能,抗干扰性能强,可靠性高。

图 6 为实际测量的驱动电路输出电压和电流波形, CH1 为驱动电压波形,每格 5 V, CH2 为电流波形,每格 5 A。

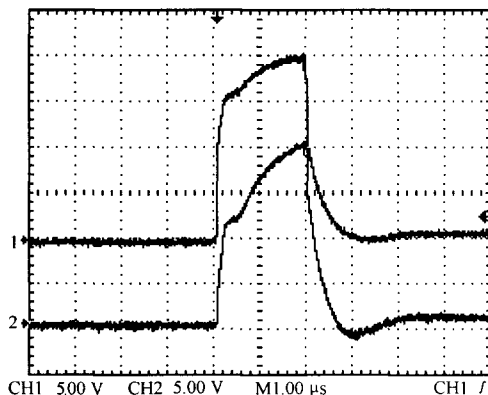


图 6 驱动电路输出电压和电流波形

3 IGBT 过流保护

为了测试驱动电路的过流保护功能,利用放电管进行了负载短路实验。由 Eupec 公司的说明手册上可知,在 V_{CE} 为 15 V 时,该 IGBT 在 10 μ s 内可承受 6 kA 的短路电流。实验表明,负载短路后,保护电路在 3 μ s 内关断 IGBT 触发器,并切断高压,待故障解除后,触发复位信号,经过设定时间后,模块重启工作。

图 7 为短路时的电流波形。CH1 为 U_{CE} 波形,每格 500 V, CH2 为短路时输出电流波形,每格 500 A。从图中可以看到,最高短路电流不超过 3 kA,宽度小于 2.5 μ s,没有超过 IGBT 在 10 μ s 内承受 6 kA 短路电流的极限。

需要注意的是,由于采用快速关断方式,保护电路动作后,在 IGBT 的 CE 两端可能产生较高的电压尖峰,因此需要较为可靠的尖峰电压吸收电路。一般是在 IGBT 的 CE 两端采用电阻和电容串联来吸收尖峰。电阻应选无感电阻,电容应选择高频特性较好的电容。

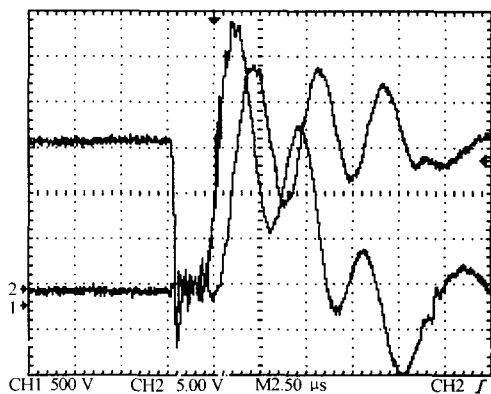


图 7 短路时 U_{CE} 波形和输出电流波

电阻产生的损耗可由下式计算:

$$P = \frac{CFV}{2} \quad (3)$$

式中: C 为电容容量; F 为开关频率; V 为 IGBT 的 CE 两端脉冲电压。

电阻阻值和电容容量可根据分布电感的大小确定。实验表明,合适的尖峰吸收电路可有效降低电压尖峰。

4 结束语

文本介绍的用于 FZ1200R33KF2 型 IGBT 模块的驱动和保护电路在大功率全固态调制器课题中得到了验证,工作稳定可靠,对提高全固态调制器可靠性起了重要作用,可广泛应用于全固态调制器及高压开关电源。

参 考 文 献

- [1] NGUYEN M N, CASSEL R L, DELAMARE J E, et al. Gate drive for high speed-high power IGBTs [C]//Proceedings of 28th IEEE International Conference on Plasma Science/13th International Pulsed Power Conference, Jun 17-22, 2001, Las Vegas, NV, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2001: P2E03.
- [2] BIERMANN J. Eupec IGBT-modules [M]. 2003.
- [3] NGUYEN M N. Short circuit protection of high speed, high power IGBT modules [C]//Proceedings of International Pulse Power Conference, Jun 15-18, 2003, Dallas, TX, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2003: 815-818.
- [4] 尹海, 李思海, 张光东. IGBT 驱动电路性能分析 [J]. 电力电子技术, 1998, 8(3): 86-89.

何秀华(1980-),女,工程师,主要从事真空管发射机的研究工作。

(下转第 44 页)

背景的群山鸟瞰图,与实际情况完全相符,见图2。

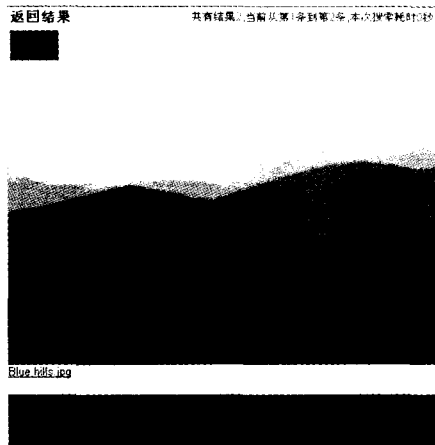


图2 检索结果演示

4 结束语

由图2可以看出:利用本文提出的方法可以很方便地找出某种颜色对应的图片,利用 Lucene 来构建整个检索系统,可以很方便地管理索引,并实现检索功能。当然,该方法也存在以下两个较大的局限性:

1)在确定图片的主色调时,即统计哪种颜色的像素点最多,本文提出的方法关注的是图片的全局特征,

而许多图片包含若干种主要色调,例如人物照,图片的全局特征并不明显,所以很难确定一个主色调。因此,该方法相对适用于全局特征比较明显的图片,例如风景图片、工艺图片、桌面图片等。

2)本文选取的24种颜色还是非常有限,不具有广泛的代表性,所以有些图片系统自动确定的主色调与实际情况有着较大的差距。如何选取候选颜色,同时限定数量,是一个比较棘手的问题。

参 考 文 献

- [1] 谷歌. 谷歌图片搜索[EB/OL]. [2008-05-16]. <http://images.google.cn>.
- [2] 百度. 百度图片搜索[EB/OL]. [2008-05-16]. <http://image.baidu.com>.
- [3] 范自柱. 基于内容的图像检索技术综述[J]. 华东交通大学学报, 2005, 22(5): 147-150.
- [4] Lucene. Lucene 开源检索模块. [2008-05-16]. <http://lucene.apache.org>.
- [5] GOSPODNETIC O, HATCHER E. Lucene in action[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [6] Michaels. The arts & crafts store[EB/OL]. [2008-05-16]. <http://www.michaels.com/art/online/home>.

吴 敏(1978-),男,助理工程师,主要从事电子电工产品质量检测工作。

A New Way for Image Retrieval Based on Content

WU Min

(Jiangsu Metrology Science Institute, Nanjing 210007, China)

Abstract: In view of the shortcomings of traditional methods, this paper proposes a new method for image retrieval. It is simple, but accurate and easy to be implemented. This approach searches images based on the content of each image which is computed by calculating the Euclidean distance of image color according to RGB. Experimental results show that the proposed method is an effective solution to search desired image.

Keywords: Lucene; image retrieval; Euclidean distance; content-based image retrieval

(上接第22页)

The Design of High Power IGBT Driver Circuit

HE Xiuhua, YANG Jinghong

(Nanjing Research Institute of Electronics Technology, Nanjing 210013, China)

Abstract: High power IGBT is widely used in modern radar transmitter, especially in all-solid-state modulator and high voltage switching power supply, in which the driver circuit should meet the requirements of strong driving capacity, immediate and efficient protection. The high power IGBT driver circuit with triggering-modes using inductors is introduced. The driver circuit with low output impedance and high current gain, as well as provided with the ability of over-current detection and protection has achieved potential isolation and burst synchronization. The results show that the driver circuit not only meets the requirements of design, but also can work stably and reliably, which can be widely applied in all-solid-state modulator and high voltage switching power supply.

Keywords: all-solid-state modulator; IGBT; driver circuit; over-current protection