

# 有效抑制 IGBT 模块应用中的过电压

李明<sup>1</sup>, 王晓宝<sup>2</sup>

(1. IR 美国国际整流器公司 西安应用中心, 陕西 西安 710061; 2. 西安爱帕克电力电子有限公司, 陕西 西安 710061)

**摘要:**寄生杂散电感会使超快速 IGBT 关断时产生过电压尖峰, 通常抑制过电压法会增加 IGBT 开关损耗或外围器件的耗散功率。介绍了有效抑制 IGBT 关断中过电压的新方法。

**关键词:**寄生电感; 过电压; 开关损耗

## Control overvoltage in IGBT module application effectually

LI Ming<sup>1</sup>, WANG Xiao-bao<sup>2</sup>

(1. Xi'an Application Center, America International Rectifier Corp., Xi'an 710061, China; 2. International IR Rectifier, Xi'an 710061, China)

**Abstract:** Overvoltage spike will be caused by stray inductance while ultra speed IGBT cutting off. But by normal way of overvoltage control, IGBT switching loss or dissipation power of peripheral devices will be increased. So a new method of overvoltage control in IGBT cutting off is introduced in this article.

**Key words:** stray inductance; overvoltage; switching loss

## 1 前言

超快速的 IGBT 模块具有非常短的上升时间和下降时间, 对应很小的开关损耗, 通常用于 20 kHz 以上频率的开关电源, 应用中常常因寄生电感产生过电压, 为了抑制过电压: 一是模块的设计者优化模块内部结构, 减少模块寄生电感; 二是使用者优化主电路结构, 减少电路中的寄生电感; 三是采用吸收电路和增加栅极电阻等方法。采用吸收电路和增加栅极电阻方法都会增加开关损耗或外围器件的损耗。本文采用一种新方法, 保持器件的快速开关特性, 在  $U_{ce}$  达到母线电压之前减小  $dv/dt$ , 使 IGBT 模块开关损耗降为最小, 同时抑制了过电压。

## 2 设计考虑

在电路布线寄生的杂散电感是所有开关电源中的一个关键问题, 在功率只有几瓦的小电源上, 一个快速的关断过程就会引起与所储能量和开关速度成比例的过电压冲击。对于大功率电源来说, 需要选择有较大富余量的器件抑制过电压, 增加了整机的成本。高的开关电压也会增加导通损耗, 降低整机

效率。所以, 我们面临的问题就是如何在提高开关速度并保持高效的同时, 避免大的过电压冲击及由此引发的其他问题。

## 3 IGBT 关断时的过电压

完全消除杂散电感是不可能的, 关断时总会有过电压。显然, 线路寄生杂散电感应最大限度地减小, 有许多方法可以实现。封装在模块内的器件的结构决定了电感的大小, 模块电感的大小反映器件制造者对电感问题的理解程度及在设计上考虑的多少。

减小线路电感可以通过缩小整个电路有效回路的面积来实现, 而最有效的方法就是采用分层布线结构。这样, 线路储能大大减小, 在给定的开关速度下, 过电压将会大大降低。另外, 在整个线路上多加些退耦电容会进一步减小线路电感, 但这些电容必须是低阻抗和低感抗的。

有许多方法可以抑制过电压尖峰, 它们都会增加开关器件的耗散功率。一种方法就是增加栅极串联电阻  $R_g$  来抑制  $dv/dt$ , 使开关速度减慢, 可以分别针对开通和关断, 显著减小过电压尖峰, 同时增加

了开关损耗。

图1显示了在1个360 V/200 A线路中使用的600 V/200 A的超快速IGBT模块的关断过程产生过电压尖峰的情况。由于 $R_g(\text{on})$ 对开通影响不大,可以忽略。 $R_g(\text{off})$ 分别为0  $\Omega$ 、10  $\Omega$ 、15  $\Omega$ 、20  $\Omega$ 、30  $\Omega$ ,表1给出了开关损耗的递增情况。

表1 开关损耗递增情况

$R_g(\text{off})/\Omega$	$E_{\text{off}}/\text{mJ}$	$R_g(\text{off})/\Omega$	$E_{\text{off}}/\text{mJ}$
0	6.0	20	15.4
10	11.1	30	19.8
15	13.2		

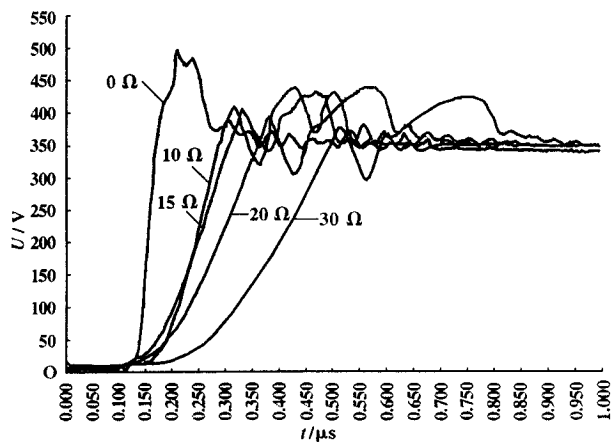


图1 600 V/200 A超快速IGBT模块关断过电压随 $R_g(\text{off})$ 变化曲线示意图

如图1所示, $R_g(\text{off})$ 增加到10  $\Omega$ 时,开关损耗增加了1倍,而尖峰电压只降低了13%。这样600 V的器件就可以工作在一个合理的安全范围内,其代价就是降低了效率。

#### 4 抑制过电压的新方法

理想的情况是在 $U_{\text{ce}}$ 达到主电路电压之前控制 $dv/dt$ ,使器件尽可能地快速关断(包括抑制反并联二极管的 $dv/dt$ ),然后抑制 $dv/dt$ ,减小过电压尖峰,这样就可以做到超快IGBT模块工作在最小开关损耗的同时也减小了过电压尖峰。

实现此过程的基本方法就是在关断时以0  $\Omega$ 的门极阻抗释放门极电荷,如果 $dv/dt$ 太高的话,可以以1个小的门极阻抗值释放门极电荷,直到 $U_{\text{ce}}$ 达到主电路电压值。然后将门极释放路径切换到另一个高阻抗的通路。图2给出了一个实现此过程的方法。

用此方法,输入驱动信号直接通过 $VD_8$ 旁路掉 $R_3$ ,获得快的上升时间。 $Q_1$ 和 $Q_2$ 的栅极输入正信号, $Q_1$ 关断和 $Q_2$ 导通,将 $Q_3$ 和 $Q_4$ 的栅极电位降到地,使 $Q_3$ 导通和 $Q_4$ 关断。 $Q_3$ 的漏极电流通过 $R_1$ 注

入IGBT门极,IGBT处于开通状态。 $Q_5$ 的栅极与输入驱动信号相连,在IGBT导通期间 $Q_5$ 是关断的。关断IGBT时, $Q_1$ 导通和 $Q_2$ 关断, $Q_3$ 和 $Q_4$ 栅极电位抬高, $Q_3$ 关断和 $Q_4$ 导通。在同一时刻, $Q_5$ 栅极电位

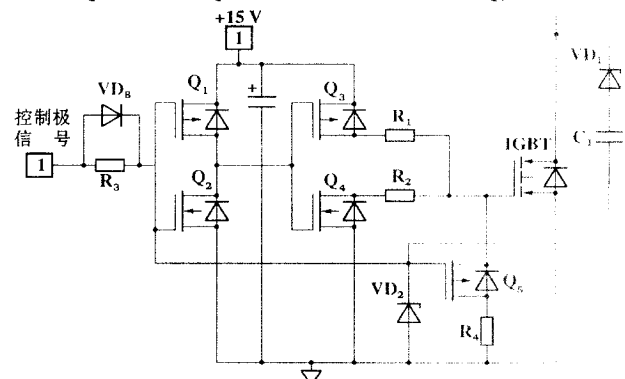


图2 抑制过电压电路原理图

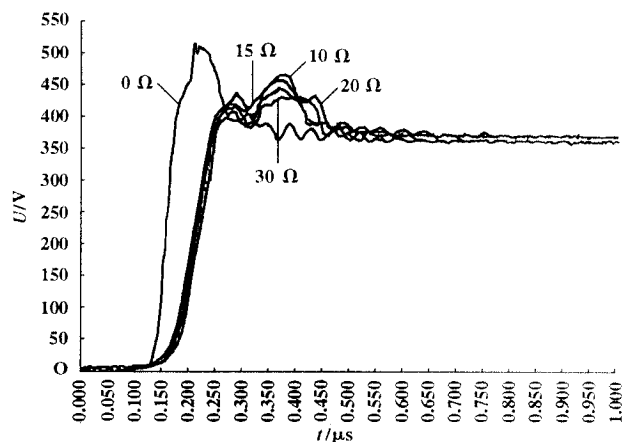


图3 新电路改变 $R_g$ 过电压变化曲线示意图

降低, $Q_5$ 导通。IGBT门极电荷立刻通过 $R_4$ 释放,可以使 $R_4$ 短路释放或依据IGBT的 $dv/dt$ 参数设置一定的电阻值释放。 $U_{\text{ce}}$ 开始上升。

当IGBT集电极电压上升到齐纳二极管 $VD_1$ 的击穿电压时, $VD_1$ 导通,电流通过 $C_1$ 注入 $Q_5$ 栅极,关断 $Q_5$ 。此脉冲非常窄,足以关断 $Q_5$ 。当 $Q_5$ 不再泄放IGBT门极电荷时,门极电荷通过 $R_2$ 释放,减慢关断速度,减小了过电压尖峰。齐纳二极管 $VD_2$ 参数选为12~15 V,防止IGBT门极被击穿。

图3给出了新电路改变 $R_g$ 过电压变化曲线示意图。

图4给出了此线路中选用不同 $R_g(\text{off}) = R_4 = R_2$ 电阻值的试验线路。表2给出了相应的关断能量损耗 $E_{\text{off}}$ 值。试验线路中若选用 $R_2 > R_4$ 或 $R_2$ 更大, $R_4$ 更小,其关断损耗会接近6 mJ,实现抑制过电压减少损耗更为理想。

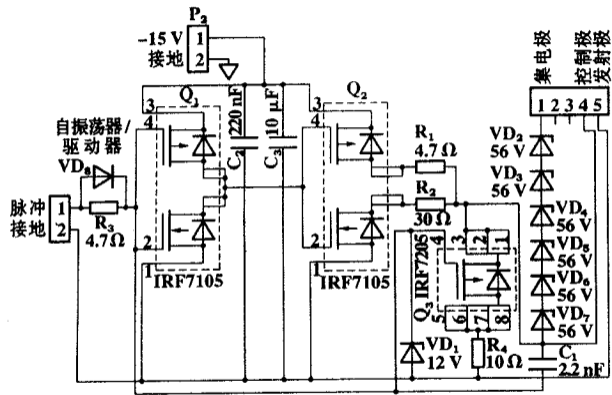


图4 选用不同的  $R_g(\text{off}) = R_4 = R_2$  电阻值的试验线路图

## 5 结论

在开关电源线路中,超快速 IGBT 模块的内部结构减少寄生电感是重要的;主电路结构优化设计,多层布线方法减少寄生电感更为重要。

表2 开关能量损耗  $E_{\text{off}}$  值

$R_g(\text{off})/\Omega$	$E_{\text{off}}/\text{mJ}$	$R_g(\text{off})/\Omega$	$E_{\text{off}}/\text{mJ}$
0	6.0	20	10.3
10	9.4	30	10.6
15	9.9		

抑制过电压的新方法可以做到在不受  $dv/dt$  限制的情况下降低过电压尖峰,IGBT 的开关损耗降低了一半。