



## FRD风险评估及测试方法

利用IGBT双脉冲测试**电路**，改变电压及电流测量探头的位置，即可对IGBT并联的续流二极管（下文简称FRD）的相关参数进行测量与评估。

### 一、FRD工作时的风险评估

IGBT模块中的并联FRD，是一个非常重要的**元件**，但往往容易被忽视。其工作时的风险主要体现在以下两个方面：

- 1、IGBT 出现短路或者故障时，IGBT驱动器可以帮忙保护，**但FRD芯片损坏时，没有其他的防护手段；**
- 2、在IGBT 开通的时刻，实际上是FRD关断的时刻。**所有的功率半导体，包括IGBT 芯片和FRD芯片，在关断时刻面临的风险远大于其开通时面临的风险；**

我们用下图红色曲线的内部区域来表示FRD的安全工作区（红色曲线部分是一条恒功率线），FRD在其反向恢复过程中，瞬时功率不能超过该线，否则就有损坏的风险。因此，**FRD的瞬时功率大小是其能否安全工作的重要判断标准。**

FRD的反向恢复过程实际上是其工作点从导通过度到截止的过程。工作点的运动轨迹有多种选择，如下图所示。显然，轨迹A是最安全的，轨迹C则是危险的。

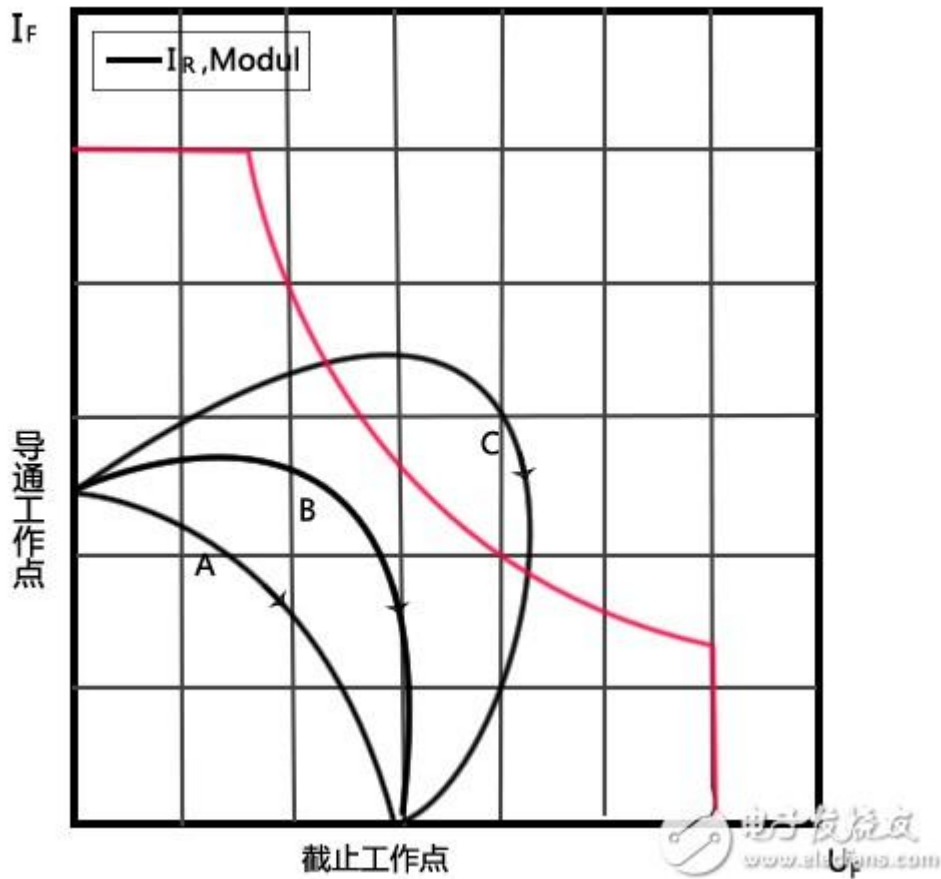


图1 FRD安全工作区示意图

## 二、FRD参数测量方法

FRD参数测量电路示意图如图2所示，测试电路与双脉冲测试相同，具体探头连接及计算如下：

- 1、将电流探头加在上管IGBT的集电极；
- 2、将电压探头加在上管 IGBT的C-E极间；
- 3、将检测电压及电流的瞬时值的积做为一个函数，即可计算得出二极管的瞬时功率；
- 4、FRD只有在IGBT第二次开通的时候才会有反向恢复行为，用示波器捕捉波形时应注意时间选择。

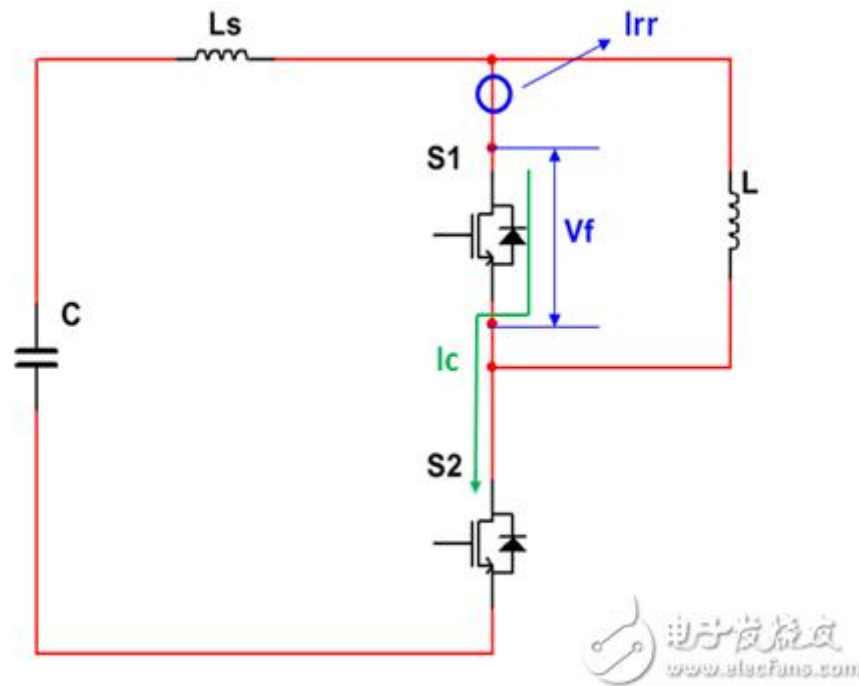
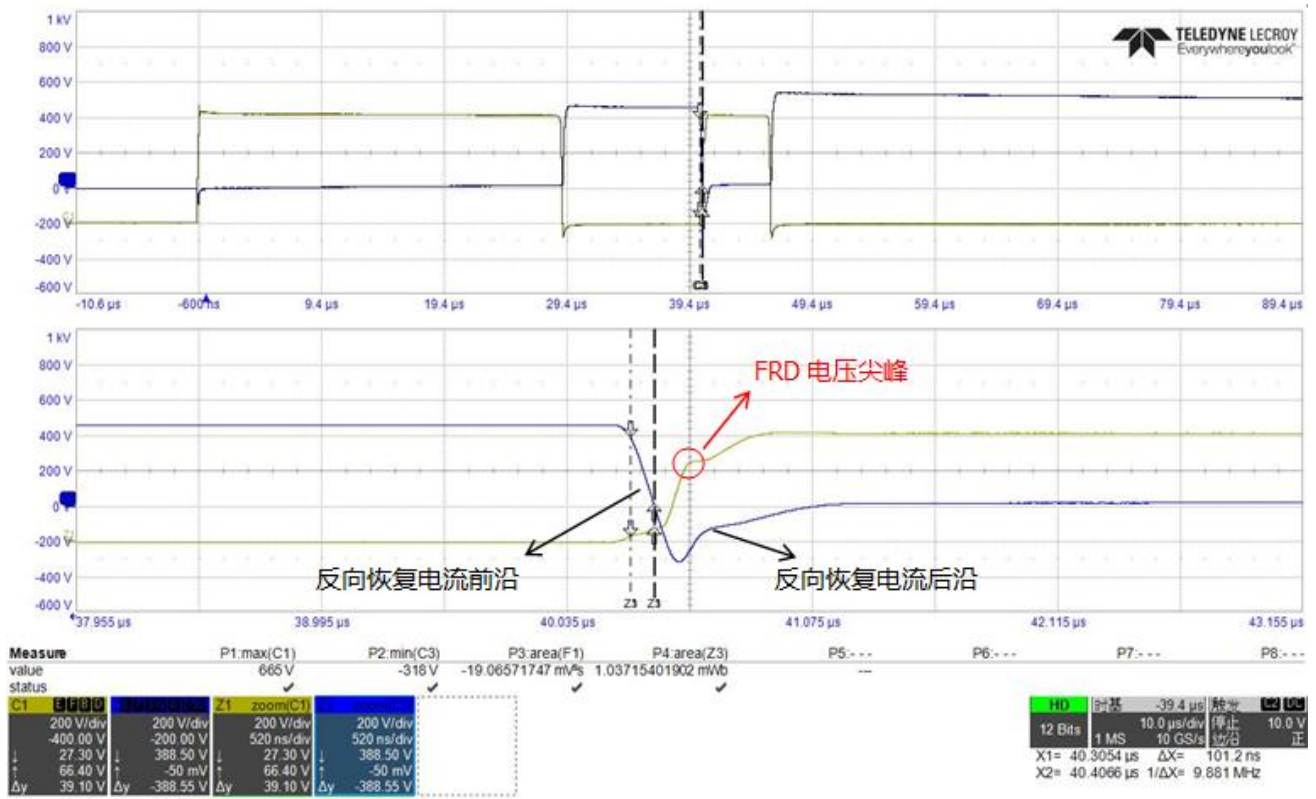


图2 FRD参数测量电路示意图

### 三、FRD参数测量图像分析

FRD反向恢复时，实测的电压及电流波形如图3所示。

- 1、二极管反向恢复电流增加时，杂散电感 $L_s$ 上产生的电压与母线电压反向（如图4-1所示），因此电压相抵，二极管相对安全。
- 2、二极管反向恢复电流减小时，杂散电感 $L_s$ 上产生的电压与母线电压同向（如图4-2所示）， $L_s$ 上的电压落在二极管上，FRD出现电压尖峰，风险加大。如果杂散电感比较大，FRD容易超出其安全工作区而损坏。通过减小直流母排的杂散电感或优化反向恢复电流的后半沿的斜率，都可以有效提高二极管的安全裕量。
- 3、通常在IGBT的datasheet中，关于二极管的部分会注明反向恢复电流的最大的 $di/dt$ 水平，通常不能超过这个数值。否则可能导致电流震荡。



黄线：FRD 电压  $V_F$  蓝线：FRD 电流  $I_{rr}$

图 3 FRD 反向恢复测量波形

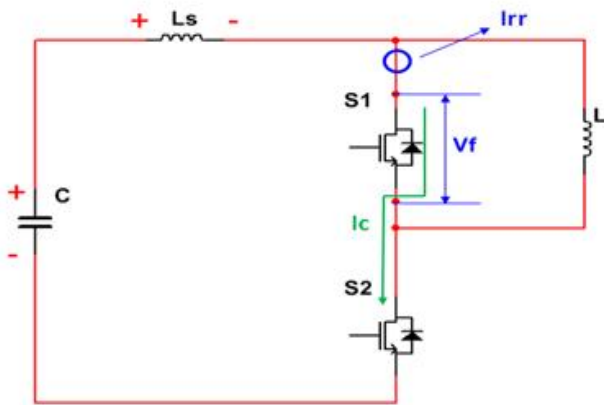


图 4-1 FRD 反向恢复前沿

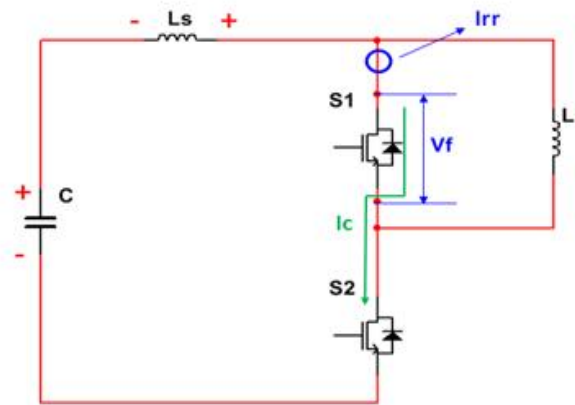


图 4-2 FRD 反向恢复后沿

#### 四、FRD性能与外部参数的关系

在外部参数发生变化时，二极管的风险也在发生变化，在此，我们举几个需要特别注意的参数：

- 1、驱动的栅阻大小。IGBT驱动的栅阻大小直接影响FRD前沿的 $di/dt$ 大小，栅阻越小，FRD的 $di/dt$ 越大，FRD反向恢复过程越容易出现震荡，器件越容易损坏；



2、结温。由于FRD的导通电压 $V_F$ 具有负的温度系数，**结温越低，二极管的开关速度越快，其反向恢复电流后沿就越陡峭，产生的电压尖峰也越高；**

3、母线电压的高低。母线电压越高，FRD两端的承压更高。

(来源：电子发烧友)