

如何选择 SiC MOSFET 驱动负压

V_{th} 漂移现象

由于宽禁带半导体 SiC 的固有特征，以及不同于 Si 材料的半导体氧化层界面特性，会引起阈值电压变化以及漂移现象。为了理解这些差异，解释这些差异与材料本身特性的关系，评估其对应用、系统的影响，需要更多的研究及探索。

就静态门极偏置而言，针对 Si 器件阈值特性的标准测试流程并不适用于 SiC MOSFET。因此，一种新的测试方法——测试-偏置-测试——被用来评估 SiC MOSFET 的 BTI (Bias-Temperature Instabilities, 偏压温度不稳定性) 特性。它可以区分可恢复的 V_{th} 漂移以及永久性的阈值漂移。这种测量技术已经用来对最新发布的 SiC MOSFET 的阈值稳定性进行了深入研究, 结果表明英飞凌 CoolSiC MOSFET V_{th} 稳定性在众多的器件中表现优异, 具有极低的 BTI 以及非常窄的阈值漂移窗口。

英飞凌对 CoolSiC MOSFET 在不同的开关条件下进行了长期的研究测试。数据显示, 长期的开关应力会引起 V_{th} 的缓慢增加。这一现象, 在不同品牌、不同技术的 SiC MOSFET 上均可以观测到。相同偏置条件下不同器件的 V_{th} 漂移值是相似的。V_{th} 上升会引起 R_{ds(on)} 的轻微上升, 长期影响是通态损耗会增加。

需要注意的是, 器件的基本功能不会被影响, 主要有:

- 1、耐压能力不会受影响
- 2、器件的可靠性等级, 如抗宇宙射线能力, 抵抗湿气的能力等不会受影响。
- 3、V_{th} 漂移会对总的开关损耗有轻微影响

影响 V_{th} 漂移的参数主要包括:

- 1、开关次数, 包括开关频率与操作时间
- 2、驱动电压, 主要是 V_{gs(off)}

以下参数对开关操作引起的 V_{th} 漂移没有影响

- 1、结温
- 2、漏源电压

3、漏极电流

4、 dv/dt , di/dt

V_{th} 漂移对应用的影响

长期来看,对于给定的 V_{gs} , 阈值漂移的主要影响在于会增加 $R_{ds(on)}$ 。通常来说,增加 $R_{ds(on)}$ 会增加导通损耗,进而增加结温。在计算功率循环时,需要把这个增加的结温也考虑进去。

结温的增加是否需要格外重视取决于实际应用及工况。在很多案例中,即便是 20 年工作寿命到期后,结温的增加仍然可以忽略不计。然而在另一些应用中结温的增加可能就会很重要。因此,在这种情况下,就需要根据下述的设计指导进行驱动电压选择。

门极驱动电压设计指导

通过控制门极负压 $V_{gs(off)}$, V_{th} 漂移可以被限制在一个可接受的水平内。不论什么情况下,关断电压的上限都是 0V,同时,关断电压的下限需要根据开通电压、开关频率、以及操作时间来选择一个合适的值,使 $R_{ds(on)}$ 的增加限制在一定范围之内。

3.1 设计指导

V_{th} 的动态漂移随着开关次数的增加而增加,为了好理解,总的开关次数被转化为 10 年内不间断工作(24 小时/7 天)的归一化的工作频率。知道实际工作频率(kHz),目标寿命(年),以及工作寿命之内系统工作的百分比,归一化的工作频率可以通过以下公式计算

归一化频率 $f_{sw} = \text{实际工作频率 } f_{sw} \text{ [kHz]} \times \text{寿命 [yrs]} \times \text{工作时间占比 [\%]} \div 10 \text{ [yrs]}$

使用估算得到的归一化频率,可以从图 1 及图 2 中找到最小的关断电压 $V_{gs(off)}$ 下限值。图 2 及图 3 分别适用于 $V_{gs(on)}=15V$ 及 $V_{gs(on)}=18V$

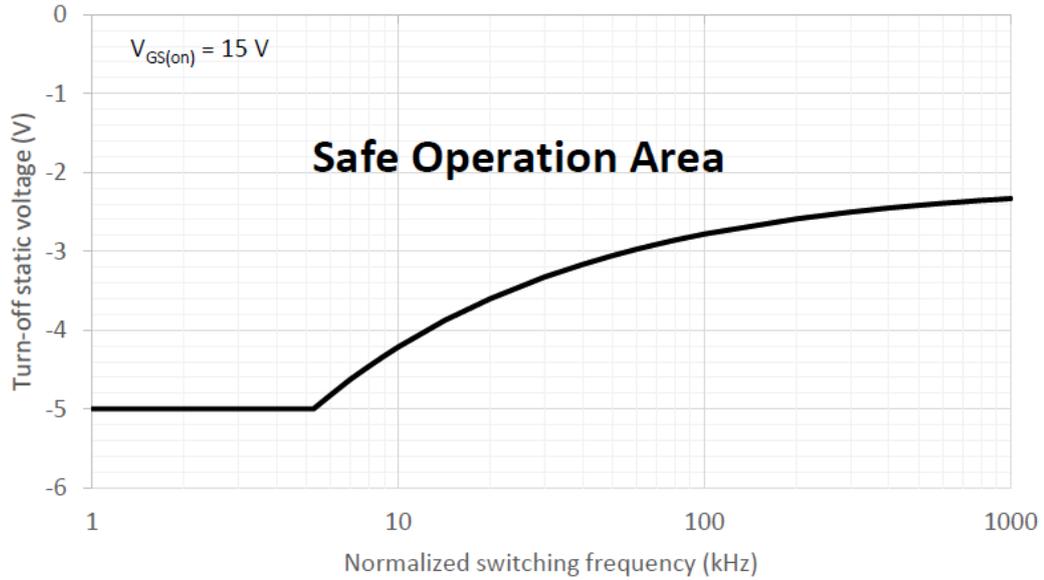


图 1 $V_{GS(on)}=15\text{V}$ 时的最低关断电压 $V_{GS(off)}$

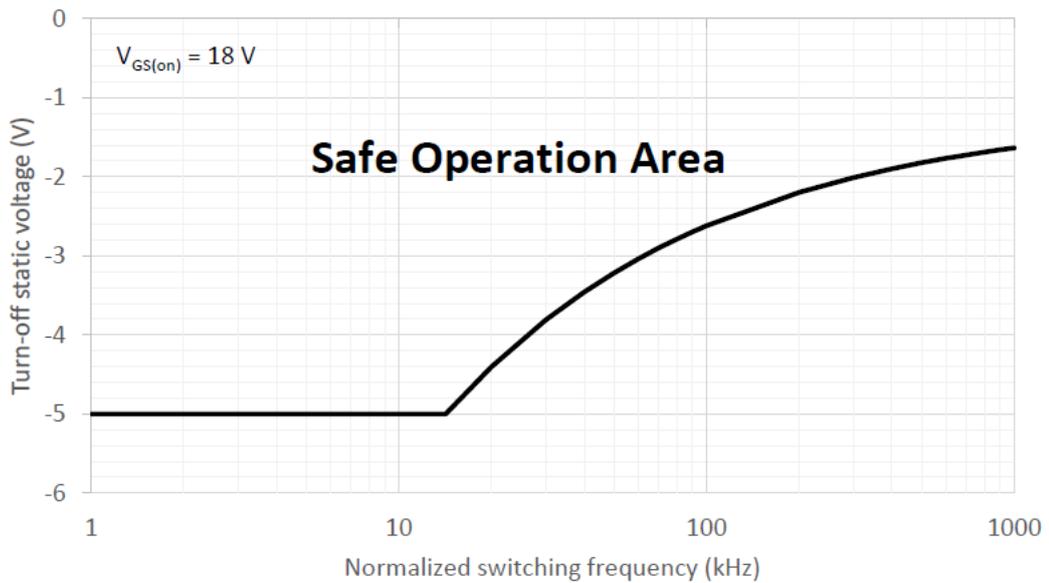


图 2 $V_{GS(on)}=18\text{V}$ 时的最低关断电压 $V_{GS(off)}$

可以通过以下的例子更好地理解上述计算方法。如一个光伏逆变器的典型工况：

- 1、实际工作频率 20kHz
- 2、目标工作寿命 20 年
- 3、工作占比 50%
- 4、归一化的工作频率为 $20\text{ kHz} * 20\text{ yrs.} * 50\% / 10\text{ yrs.} = 20\text{ kHz}$

如果开通电压是 15V，关断电压的范围应在-3.6 到 0V 之间(见图 1)。如果开通电压是 18V，关断电压的范围应在在-4.4V 到 0V 之间，如图 2。

3.2 安全工作区定义

制定安全工作区的最低关断电压的前提是：

- 1、最低推荐门极电压-5V
- 2、在工作寿命末期，相对于初始值， $R_{ds(on)}$ 增加小于 15%

因此，在安全工作区内使用器件，在工作寿命末期， $R_{ds(on)}$ 增长将会小于 15%.

$R_{ds(on)}$ 的增量还取决于工作电流 I_d ，和结温 T_j (如图 3)。因此， $R_{ds(on)}$ 的增量需要考虑最严苛的工况。这能够保证 $R_{ds(on)}$ 的增加在任何工况下都不会超过 15%。工况如下：

- 1、高电流：两倍的额定电流
- 2、中等的结温： $T_j=100^{\circ}\text{C}$

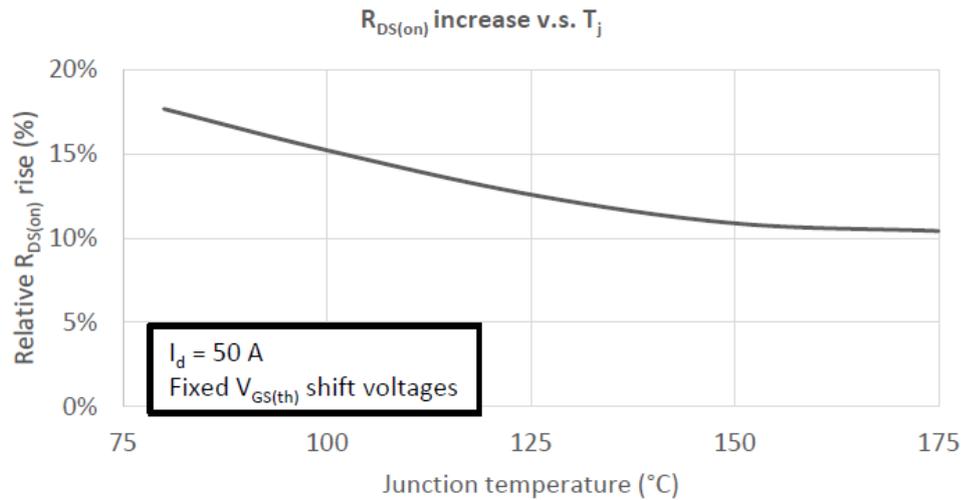


图 4 不同温度下 $R_{ds(on)}$ 的相对增长

通常来说，15%的 $R_{ds(on)}$ 增量是最坏的情况。更大的增量只可能出现在高电流和低结温的工况中，这在实际应用中十分罕见。

3.3 使用 18V 门极电压时的注意事项

为了与其它器件兼容，CoolSiC MOSFET 可以使用 18V 的门极电压。请注意，高于 15V 的门极开通电压对于 $R_{ds(on)}$ 有两个相反的影响

- 1、它可以减小 $R_{ds(on)}$
- 2、它会加速 V_{th} 漂移效应，意味着 $R_{ds(on)}$ 的增长会更快

对于一个相对比较低的工作频率（大约小于 50kHz）， $R_{ds(on)}$ 减小效应占主导地位。

对于比较高的工作频率，需要采用一个较高的负压（更接近 0V）来防止 V_{th} 漂移加速。

需要注意的是，门极电压 18V 时的短路电流要远远高于 15V。因此器件在 $V_{gs(on)}=18V$ 时不能达到预定的短路能力。

3.4 减小关断负压的注意事项

器件工作在一个较高的门极负压时（如 -2V 代替 -5V），对于应用的影响很小。一些应用相关参数需要考虑如下：

- 1、 E_{on} 和 E_{off} 会稍微改变
- 2、SiC MOSFET 的体二极管正向压降会降低
- 3、误导通风险增加，可能会增加开通损耗。如在 0V 关断，较高的的关断门极电阻，更大的门极-源极回路电感等情况中更加明显

来源：英飞凌工业半导体