

## SIC MOSFET 驱动电路设计概述

### 一、SIC MOSFET的特性

- 1、导通电阻随温度变化率较小，高温情况下导通阻抗很低，能在恶劣的环境下很好的工作。
- 2、随着门极电压的升高，导通电阻越小，表现更接近于压控电阻。
- 3、开通需要门极电荷较小，总体驱动功率较低，其体二极管 $V_f$ 较高，但反向恢复性很好，可以降低开通损耗。
- 4、具有更小的结电容，关断速度较快，关断损耗更小。
- 5、开关损耗小，可以进行高频开关动作，使得滤波器等无源器件小型化，提高功率密度。
- 6、开通电压高于SI器件，推荐使用 $V_{gs}$ 为18V或者20V，虽然开启电压只有2.7V，但只有驱动电压达到18V~20V时才能完全开通。
- 7、误触发耐性稍差，需要有源钳位电路或者施加负电压防止其误触发。

## 2 Electrical characteristics

( $T_{CASE} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$  unless otherwise specified).

**Table 3. On/off states**

| Symbol        | Parameter                         | Test conditions   | Min. | Typ. | Max.      | Unit          |
|---------------|-----------------------------------|---|------|------|-----------|---------------|
| $V_{(BR)DSS}$ | Drain-source breakdown voltage    | $V_{GS} = 0\text{ V}, I_D = 1\text{ mA}$  | 650  |      |           | V             |
| $I_{DSS}$     | Zero gate voltage drain current   | $V_{DS} = 650\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V}$                                    |      |      | 10        | $\mu\text{A}$ |
|               |                                   | $V_{DS} = 650\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V}, T_J = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ |      | 10   |           |               |
| $I_{GSS}$     | Gate-body leakage current         | $V_{DS} = 0\text{ V}, V_{GS} = -10\text{ to }22\text{ V}$                       |      |      | $\pm 100$ | nA            |
| $V_{GS(th)}$  | Gate threshold voltage            | $V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\text{ }\mu\text{A}$                                 | 1.9  | 3.2  | 5         | V             |
| $R_{DS(on)}$  | Static drain-source on-resistance | $V_{GS} = 18\text{ V}, I_D = 50\text{ A}$                                       |      | 18   | 24        | m $\Omega$    |
|               |                                   | $V_{GS} = 18\text{ V}, I_D = 50\text{ A}, T_J = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$    |      | 30   |           |               |

**Table 4. Dynamic**

| Symbol    | Parameter                    | Test conditions  | Min. | Typ. | Max. | Unit     |
|-----------|------------------------------|--|------|------|------|----------|
| $C_{iss}$ | Input capacitance            | $V_{DS} = 400\text{ V}, f = 1\text{ MHz}, V_{GS} = 0\text{ V}$                 | -    | 3500 | -    | pF       |
| $C_{oss}$ | Output capacitance           |  | -    | 350  | -    | pF       |
| $C_{rss}$ | Reverse transfer capacitance |  | -    | 53   | -    | pF       |
| $Q_g$     | Total gate charge            | $V_{DD} = 400\text{ V}, I_D = 50\text{ A}, V_{GS} = 0\text{ V to }20\text{ V}$ | -    | 160  | -    | nC       |
| $Q_{gs}$  | Gate-source charge           |  | -    | 37   | -    | nC       |
| $Q_{gd}$  | Gate-drain charge            |  | -    | 47   | -    | nC       |
| $R_g$     | Gate input resistance        | $f = 1\text{ MHz}, I_D = 0\text{ A}$   | -    | 1    | -    | $\Omega$ |

**Table 5. Switching energy (inductive load)**

| Symbol    | Parameter                 | Test conditions   | Min. | Typ. | Max. | Unit          |
|-----------|---------------------------|---|------|------|------|---------------|
| $E_{on}$  | Turn-on switching energy  | $V_{GS} = -5\text{ to }18\text{ V}, V_{DD} = 400\text{ V}, I_D = 50\text{ A}, R_G = 2.2\text{ }\Omega$                                    | -    | 180  | -    | $\mu\text{J}$ |
| $E_{off}$ | Turn-off switching energy |   | -    | 200  | -    |               |
| $E_{on}$  | Turn-on switching energy  | $V_{DD} = 400\text{ V}, I_D = 50\text{ A}, R_G = 2.2\text{ }\Omega, V_{GS} = -5\text{ to }18\text{ V}, T_J = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ | -    | 150  | -    |               |
| $E_{off}$ | Turn-off switching energy |   | -    | 180  | -    |               |

图1 ST公司SIC MOSFET参数

## 2 Electrical characteristics

$T_C = 25\text{ }^\circ\text{C}$  unless otherwise specified

Table 4: Static characteristics

| Symbol        | Parameter                            | Test conditions  | Min. | Typ. | Max.      | Unit          |
|---------------|--------------------------------------|--|------|------|-----------|---------------|
| $V_{(BR)CES}$ | Collector-emitter breakdown voltage  | $V_{GE} = 0\text{ V}$ , $I_C = 250\text{ }\mu\text{A}$                               | 650  |      |           | V             |
| $V_{CE(sat)}$ | Collector-emitter saturation voltage | $V_{GE} = 15\text{ V}$ , $I_C = 120\text{ A}$  |      | 1.65 | 2.15      | V             |
|               |                                      | $V_{GE} = 15\text{ V}$ , $I_C = 120\text{ A}$ ,<br>$T_J = 125\text{ }^\circ\text{C}$ |      | 1.95 |           |               |
|               |                                      | $V_{GE} = 15\text{ V}$ , $I_C = 120\text{ A}$ ,<br>$T_J = 175\text{ }^\circ\text{C}$ |      | 2.1  |           |               |
| $V_F$         | Forward on-voltage                   | $I_F = 120\text{ A}$   |      | 1.9  | 2.6       | V             |
|               |                                      | $I_F = 120\text{ A}$ , $T_J = 125\text{ }^\circ\text{C}$                             |      | 1.7  |           |               |
|               |                                      | $I_F = 120\text{ A}$ , $T_J = 175\text{ }^\circ\text{C}$                             |      | 1.6  |           |               |
| $V_{GE(th)}$  | Gate threshold voltage               | $V_{CE} = V_{GE}$ , $I_C = 2\text{ mA}$  | 5    | 6    | 7         | V             |
| $I_{CES}$     | Collector cut-off current            | $V_{GE} = 0\text{ V}$ , $V_{CE} = 650\text{ V}$                                      |      |      | 100       | $\mu\text{A}$ |
| $I_{GES}$     | Gate-emitter leakage current         | $V_{CE} = 0\text{ V}$ , $V_{GE} = \pm 20\text{ V}$                                   |      |      | $\pm 250$ | $\mu\text{A}$ |

Table 5: Dynamic characteristics

| Symbol    | Parameter                    | Test conditions  | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|-----------|------------------------------|--|------|------|------|------|
| $C_{ies}$ | Input capacitance            | $V_{CE} = 25\text{ V}$ , $f = 1\text{ MHz}$ ,<br>$V_{GE} = 0\text{ V}$   | -    | 11   | -    | nF   |
| $C_{oes}$ | Output capacitance           |  | -    | 0.61 | -    |      |
| $C_{res}$ | Reverse transfer capacitance |  | -    | 0.25 | -    |      |
| $Q_g$     | Total gate charge            | $V_{CC} = 520\text{ V}$ , $I_C = 120\text{ A}$ ,<br>$V_{GE} = 0\text{ to }15\text{ V}$ (see Figure 30: "Gate charge test circuit") | -    | 420  | -    | nC   |
| $Q_{ge}$  | Gate-emitter charge          |  | -    | 90   | -    |      |
| $Q_{gc}$  | Gate-collector charge        |  | -    | 160  | -    |      |

图2 ST公司IGBT参数

### 二、SIC MOSFET对驱动的要求

- 1、触发脉冲有比较快的上升速度和下降速度，脉冲前沿和后沿要陡。
- 2、驱动回路的阻抗不能太大，开通时快速对栅极电容充电，关断时栅极电容能够快速放电。
- 3、驱动电路能够提供足够大的驱动电流
- 4、驱动电路能够提供足够大的驱动电压，减小SIC MOSFET的导通损耗。
- 5、驱动电路采用负压关断，防止误导通，增强其抗干扰能力。

6、驱动电路整个驱动回路寄生电感要小，驱动电路尽量靠近功率管。

7、驱动电路峰值电流 $I_{max}$ 要更大，减小米勒平台的持续时间，提高开关速度。

### 三、SIC MOSFET驱动电路设计

对于有IGBT驱动电路设计经验的工程师来说，SIC MOSFET驱动电路的设计与IGBT驱动电路的设计类似，可以在原来的驱动电路上进行修改参数进行设计。

#### 驱动电源的设计

SIC MOSFET电源的设计，根据其特性，需要有负压关断和相比SI MOSFET较高的驱动电压，一般设计电源为  $-6V \sim +22V$ ，根据不同厂家的不同Datasheet大家选择合适的电源正负电压的设计，这里只给出一个笼统的设计范围。可以将IGBT模块驱动电源进行稍微修改使用在这里，比如，特斯拉在分立IGBT和SIC IGBT上都是用反激电源，具体电路参考历史文章中对特斯拉Model S与Model 3的硬件对比分析中，也可以使用电源模块，比如国内做的比较好的金升阳的电源模块，可以降低设计难度，但成本也会相应的升高。

#### 驱动电路的设计

驱动芯片，英飞凌和ST都有相应的驱动芯片，并且原来英飞凌用于IGBT驱动的1ED系列和2ED系列都可以用在SIC MOSFET的驱动电路，如下图所示，英飞凌对SIC MOSFET驱动IC的介绍，具体的参数朋友们可以参考英飞凌的Datasheet（注：不是在为谁打广告，因为经常用英飞凌的产品，比较熟悉就拿出来对比）。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/140018.html>