

IPM 模块在马达控制应用中的功率损耗计算示例

主要器件	
STGIF7CH60TS-L	

目的和作用

本文基于 AN4768 给出一个如何评估计算 IPM 的功率损耗的示范应用案例(IPM IGBT 模块在马达驱动应用, 比如在空调或洗衣机中的 BLDC 应用)

描述

对于 IGBT IPM 的结温评估是对评估和考核一个系统(比如 家电应用)的设计是否可靠性的重要一环。

IGBT IPM 在家电的马达驱动应用中已经得到广泛的使用, 下面的示例是基于型号 STGIF7CH60TS-L 在空调应用中的分析。

以下的分析基于如下的前提条件:

- 1) 基于 SPWM 算法的逆变器应用
- 2) 输出电流为正弦波形 sine
- 3) 负载时电感负载

马达驱动案例

- 1) $V_{DC}=310[V]$, $f_{sw} = 8[kHz]$, $PF=0.95$, $M(\text{最大调试深度}) = 0.8$
- 2) STGIF7CH60TS-L 是三相 IGBT 驱动模块

IPM 的功率损耗:

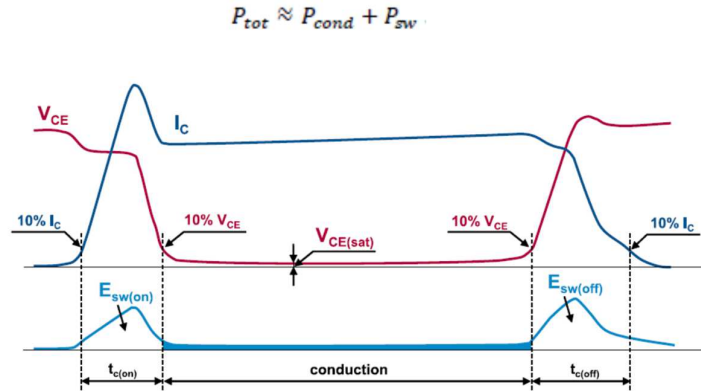


图 1. 典型的 IGBT 功耗损耗波形

第一步: 需要检查和记录在各种工况条件下的波形, 并记录电气应力最大时的波形, 比如 IPM 的最大电流, I_c

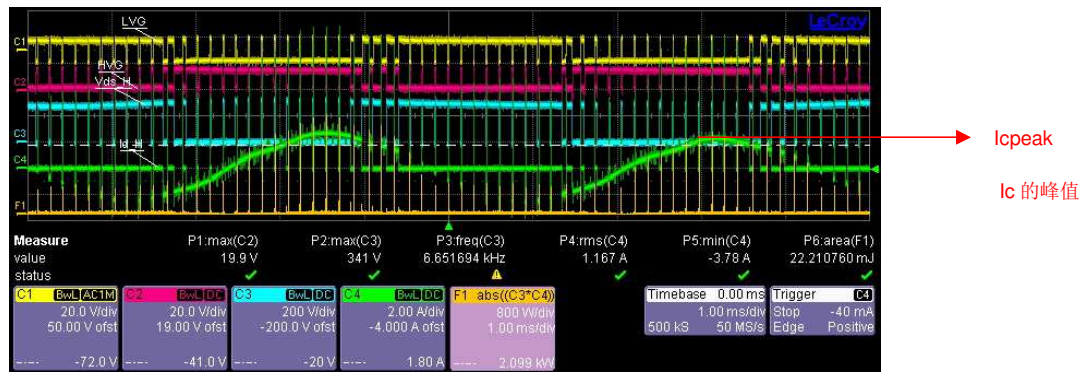


图 2. IPM 波形

记录在一个开关周期内的有效值 RMS, 如下图所示

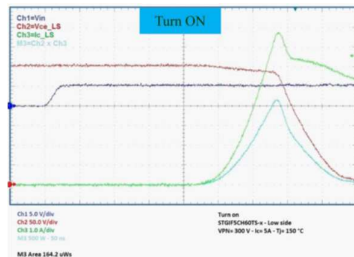


图 4. IGBT 开通

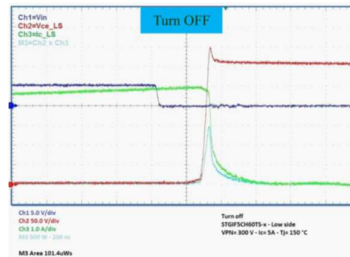


图 5. IGBT 关断

测试结果:

参数	描述	数值
VDC	输入直流电压	300V
cos ϕ	功率因数	0.95
Ma	调制系数	0.8
Fsw	开关频率	16kHz
Tamb	环境温度	备注 1
Tcase_max	最大壳温	备注 1
Ic max	最大 Ic 电流	7A

Note1 -- 此参数有最终的客户应用条件决定

第二步: 计算在最恶劣工况条件下的结温

$$T_{j_c} = T_c + P_{loss} \times R_{thj_c}$$

目前有两种方法可以评估功耗:

>2-1: 利用示波器直接测量功耗

->利用示波器的数学计算功能直接得到损耗数据

>2-2: 理论计算.

$$P_{loss} = P_{cond_IGBT} + P_{cond_DIODE} + P_{sw}$$

P_{cond_IGBT} : IGBT 的导通损耗

P_{cond_DIODE} : 二极管的导通损耗

P_{sw} : 开关损耗 (开通, 关断)

单个开关周期内的导通损耗计算:

$$P_{cond} = P_{cond_IGBT} + P_{cond_DIODE}$$

$$v_{ce}(i_c) = V_{TO} + R_{CE} \cdot i_c, \quad v_{fm}(i_{fm}) = V_{FO} + R_{AK} \cdot i_{fm}$$

$V_{TO}, R_{ce}, V_{FO}, R_{AK}$ 这些参数可以从 STGIF7CH60TS-L 数据手册中获得:

$V_{TO}=1.13V, R_{ce}=0.08$ 欧姆, $V_{FO}=0.8V, R_{AK}=0.05,$

$$P_{cond_IGBT} = V_{TO} \cdot \hat{I} \left(\frac{1}{2\pi} + \frac{m_a \cdot \cos\phi}{8} \right) + R_{CE} \cdot \hat{I}^2 \left(\frac{1}{8} + \frac{m_a \cdot \cos\phi}{3\pi} \right)$$

$$= 1.13 \times 7 \times \left(\frac{1}{2\pi} + \frac{0.8 \times 0.95}{8} \right) + 0.08 \times 7^2 \times \left(\frac{1}{8} + \frac{0.8 \times 0.95}{3\pi} \right) = 2.817 \text{ W}$$

$$P_{cond_DIODE} = V_{FO} \cdot \hat{I} \left(\frac{1}{2\pi} - \frac{m_a \cdot \cos\phi}{8} \right) + R_{AK} \cdot \hat{I}^2 \left(\frac{1}{8} - \frac{m_a \cdot \cos\phi}{3\pi} \right)$$

$$= 0.08 \times 7 \times \left(\frac{1}{2\pi} - \frac{0.8 \times 0.95}{8} \right) + 0.05 \times 7^2 \times \left(\frac{1}{8} - \frac{0.8 \times 0.95}{3\pi} \right) = 0.468 \text{ W}$$

$$P_{cond} = 2.817 + 0.468 = 3.285 \text{ W}$$

单个开关周期内的开关损耗(开通和关断):

$$P_{sw} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}+\phi}^{\frac{\pi}{2}+\phi} (E_{IGBT} + E_{Diode}) \cdot f_{sw} d\theta = \frac{(E_{IGBT} + E_{Diode}) \cdot f_{sw}}{\pi}$$

$$E_{IGBT} = E_{on} + E_{off} = 0.000197 + 0.000084 = 281 \text{ uJ}$$

$$E_{DIODE} = E_{rr} = 21 \text{ uJ}$$

$$P_{sw} = \frac{(0.000281+0.000021) \times 16000}{3.14} = 1.538 \text{ W}$$

总损耗:

$$\text{单个 IGBT 的损耗} = P_{cond} + P_{sw} = 3.285 \text{ W} + 1.538 \text{ W} = 4.824 \text{ W}$$

$$\text{三相模块中的 6 颗 IGBT 总损耗} = 28.94 \text{ W}$$

备注: 对于开关损耗, 利用示波器的测量(E_{on}/E_{off})可以得到更为精确的数据, 以上的理论计算可以提供一个工程评估参考。

Figure 11. $V_{CE(sat)}$ vs. collector current

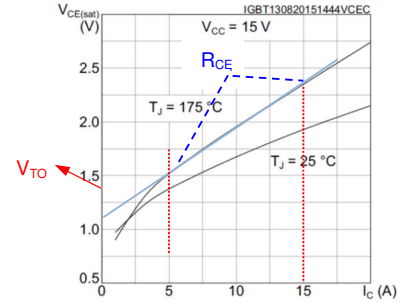
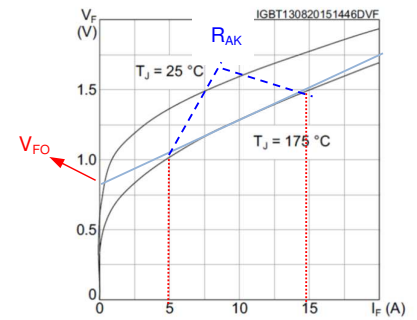


Figure 12. Diode V_F vs. forward current



支持文档

相关的设计支持文档
文档
STGIF7CH60TS-L 产品手册
AN4768 应用笔记

版本历史

日期	版本	变更
2017 年 6 月 26 日	1	初始版本

重要通知 - 请仔细阅读

意法半导体公司及其子公司 (“ST”) 保留随时对 ST 产品和 / 或本文档进行变更、更正、增强、修改和改进的权利，恕不另行通知。买方在订货之前应获取关于 ST 产品的最新信息。ST 产品的销售依照订单确认时的相关 ST 销售条款。

ST 概不承担与应用协助或买方产品设计相关的任何责任。

ST 不对任何知识产权进行任何明示或默示的授权或许可。

转售的 ST 产品如有不同于此处提供的信息的规定，将导致 ST 针对该产品授予的任何保证失效。

ST 和 ST 徽标是 ST 的商标。所有其他产品或服务名称均为其各自所有者的财产。

本文档中的信息取代本文档所有早期版本中提供的信息。本文档的中文版本为英文版本的翻译件，仅供参考之用；若中文版本与英文版本有任何冲突或不一致，则以英文版本为准。

© 2018 STMicroelectronics - 保留所有权利