

PFC 应用中功率器件 IGBT 结温评估方法

Jed wang

主要器件	
STTH30AC06C	

目的和作用

这篇文章用实际例子讲述,在家电 PFC 的运用中如何评估 IGBT 的结温 (例如:空调)

描述

IGBT 作为 PFC 开关器件在家电中运用很广,例如:空调产品.对于家电产品来说,PFC 中 IGBT 结温的评估是整个系统设计过程中非常重要的阶段.接下来会基于 STGWT40HP60FB(IGBT)和 STTH30AC06C(快恢复二极管)的运用为例来详细介绍如何运用计算的方式评估 IGBT 的结温.

PFC 规格参数:

- 1) 175~265vac/50~60Hz-----输入电压范围
- 2) $V_{out}=400v$ DC -----PFC 输出电压
- 3) $F_{sw_PFC}=33kHz$ -----PFC 开关频率
- 4) CCM mode, single-phase PFC--PFC 工作模式
- 5) STGWT40HP60FB -----PFC 开关管
- 5) STTH30AC06C -----PFC 自举二极管

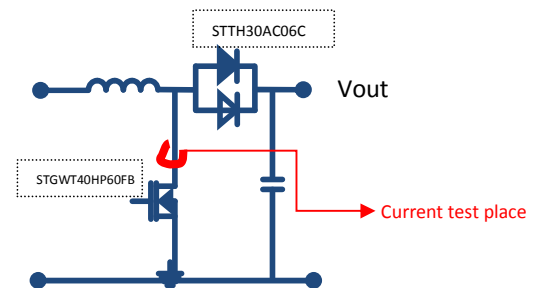


图 1. 电路原理图

Step1: 在每一个条件下确认 IGBT 的波形以获得最大 IGBT 电气参数: V_{cemax} , V_{gemax} , I_{cemax}

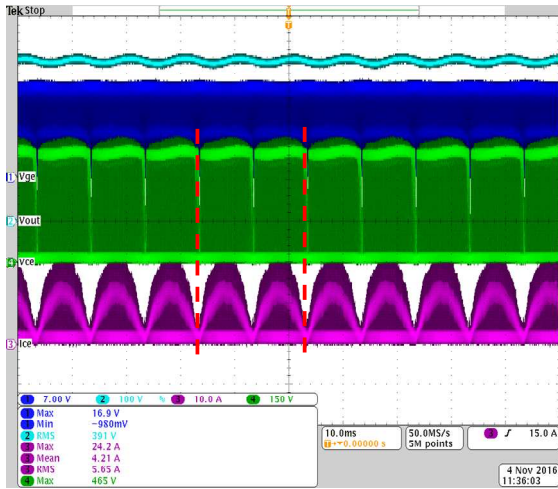


图 2. Waveforms for IGBT

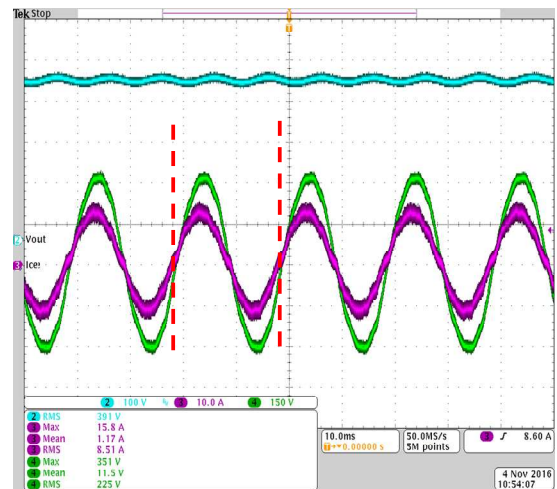


图 3. AC input waveform

测量电流 RMS 值的时候, 最好用示波器的光标卡完整周期的方式测量. (如上,图中所示).

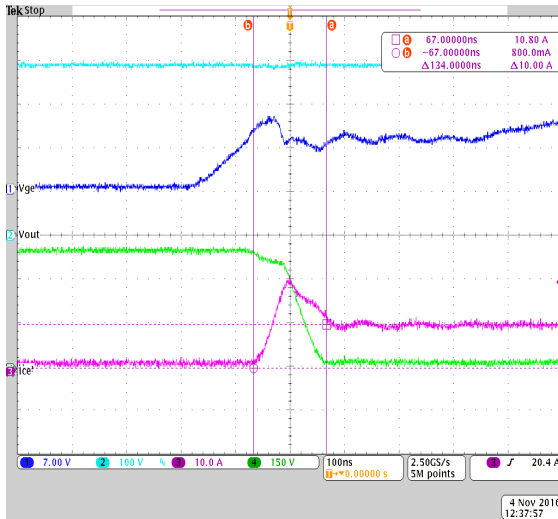


图 4. Turn-on of IGBT

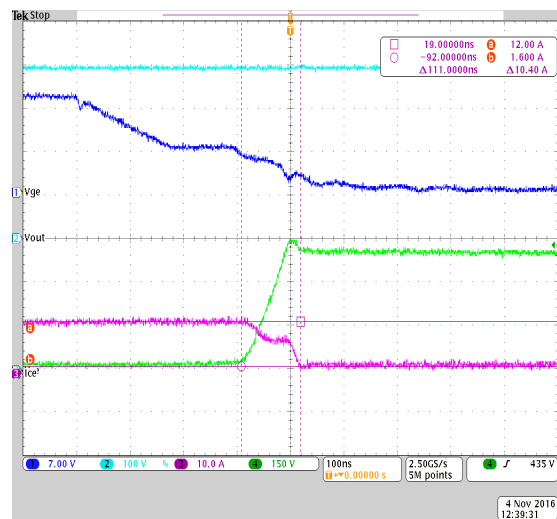


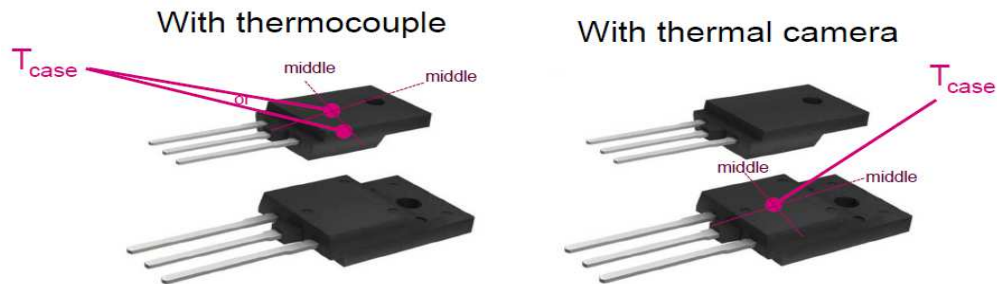
图 5. Turn-off of IGBT

测试结果:

Parameters	Description	Values
Vin(ac)	交流输入电压	225V rms
Vout(max)/Vout(rms)	PFC 输出电压	410v/391v
Iin(ac)	交流输入电流	8.5A RMS
Pin	输入功率	1900w
Fsw	PFC 开关频率	33kHz
Tamb	环境温度	Note1
Tcase_max -STGWT40HP60FB	IGBT 最大壳温	Note2
Vce max - STGWT40HP60FB	Vce 最大电压	465v
Vge max- STGWT40HP60FB	Vge 最大电压	16.9v
Ice max - STGWT40HP60FB	Ice 最大电流	24.2A
Ice_RMS - STGWT40HP60FB	Ice 有效值电流	5.65A
Ice_av - STGWT40HP60FB	Ice 平均电流	4.21A
Di/dt - STGWT40HP60FB	IGBT 开瞬间 Ice 电流斜率	365 A/uS
Dv/dt - STGWT40HP60FB	IGBT 关瞬间 Vce 电压斜率	5 v/nS

Note1 -- 环境温度由终端客户决定。

Note2—用点温线或热成像仪测试 IGBT 的温度时参照如下图所示位置获取 Tc 温度。



Step2:在最恶劣的条件下估算 IGBT 的结温.

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

有两种方式获得 Ploss 数值:

>2-1: 运用示波器的数学积分功能:

IGBT 的平均功率损耗可以运用示波器的积分功能获得, 所以选择的样本数量越多计算的就越准确。

>2-2: 理论计算:

$$P_{loss} = P_{cond} + P_{cap} + P_{cross} + P_{recov}$$

P_{cond} : 导通损耗

P_{cap} : Coes 及寄生电容储存能量损耗

P_{cross} : 电压、电流交越的开关损耗(开启的过程, 关断过程)

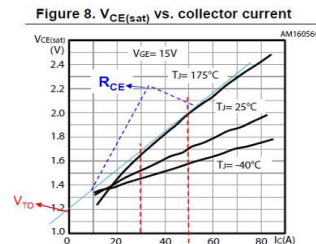
P_{recov} : 由于二极管反向恢复电流引起的开关损耗

导通损耗计算:

$$P_{cond} = V_{T0} * I_{ce_av} + R_{ce} * I_{ce_rms}^2$$

V_{T0} , R_{ce} 的参数可以从 STGWT40HP60FB 规格书中的 Figure 8 中获得。

$$V_{T0}=1.2V, R_{ce}=0.0175ohm$$



$$I_{rms}^2 = \left(\frac{P_{in}}{V_{ac}}\right)^2 \times \left(1 - \frac{8\sqrt{2} \times V_{ac}}{3 \times \pi \times V_{out}}\right) = \left(\frac{1910}{225}\right)^2 \times \left(1 - \frac{8\sqrt{2} \times 225}{3 \times \pi \times 391}\right) = 22.26A^2$$

$$I_{av} = \frac{P_{in}}{V_{ac}} \times \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \times \left(1 - \frac{\pi\sqrt{2} \times V_{ac}}{8 \times V_{out}}\right) = \frac{1910}{225} \times \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \times \left(1 - \frac{\pi\sqrt{2} \times 225}{8 \times 391}\right) = 5.2A$$

$$P_{cond} = 1.2V \times 5.2A + 0.0175ohm \times 22.26A^2 = 6.63W$$

Coes 及寄生电容储存能量损耗

$$P_{cap} = \frac{1}{2} \times C_D \times V_{ce}^2 \times F_{sw}$$

Pcap 是由于 IGBT 导通时电容放电引起的损耗。

$$C_D = C_{oes_av} + C_{parasitic} \quad C_{parasitic} \text{ is about } 100PF$$

$$C_{oes_av} = 2 \times C_{oes_spec} \times \sqrt{\frac{V_{ce_spec}}{V_{ce_off}}} \quad V_{ce_off}=399V$$

$$=99PF$$

$$P_{cap} = \frac{1}{2} \times 199pF \times 399V \times 399V \times 33KHz = 0.52W$$

Table 5: Dynamic characteristics

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
C _{ies}	Input capacitance	V _{CE} = 25 V, f = 1 MHz, V _{GE} = 0 V	-	5412	-	pF
C _{oes}	Output capacitance		-	198	-	
C _{res}	Reverse transfer capacitance		-	107	-	

IGBT 开启或关断过程中电压、电流交越损耗: (Note)

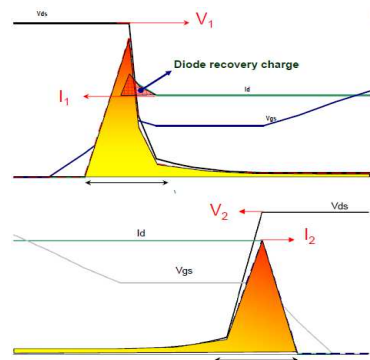
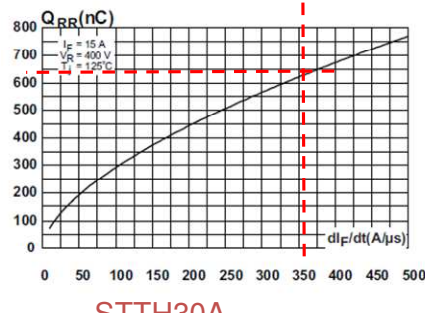
$$P_{cross1} = \frac{1}{2} \times I_1 \times V_{ce} \times t_{on} \times F_{sw} = \frac{1}{2} \times 10A \times 396V \times 134nS \times 33KHz = 8.7W$$

$$P_{cross2} = \frac{1}{2} \times I_2 \times V_{ce} \times t_{off} \times F_{sw} = \frac{1}{2} \times 11.4A \times 399V \times 115nS \times 33KHz = 8.6W$$

$$P_{recoV} = Q_{rr} \times V_1 \times F_{sw} = 650nC \times 396V \times 33KHz = 8.5W$$

Note:对于计算开关损耗, 为了获得真实的动态值最好用示波器测量波形的 Eon 和 Eoff。
不管怎样, 上面的计算方式都是一个很好的近似法。

Figure 8. Reverse recovery charges versus di/dt (typical values, per diode)



总损耗:

$$P_{loss} = P_{cond} + P_{cap} + P_{cross} + P_{recov} = 6.63W + 0.52W + (8.7W + 8.6W) + 8.5W = 33W$$

$$\Delta T_{j_c} = 33W \times 0.53^\circ C/W = 17.5^\circ C$$

Table 3: Thermal data

Symbol	Parameter	Value	Unit
R_{thJC}	Thermal resistance junction-case IGBT	0.53	°C/W
R_{thJC}	Thermal resistance junction-case diode	5	
R_{thJA}	Thermal resistance junction-ambient	50	

所以在 IGBT 结和壳之间的温度差异是 17.5°C

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