

■ 刘玉芬 程洪亮 / 时代新纪元科技集团有限公司

变频器的热耗计算及散热分析

阐述了 IGBT 模块热功耗的计算方法, 并以变频器产品为例, 利用 Flotherm 软件进行散热分析, 通过详实的试验数据, 说明了散热分析的重要性与实际意义。

1 引言

在通用型变频器中, IGBT 是主要的发热元件, 解决好 IGBT 的散热问题, 对变频器的可靠性、寿命及经济运行都具有重要意义。

2 IGBT 模块的功耗计算

IGBT 在开关状态下, 器件所产生的功耗包括通态损耗 P_{sat} 和开关损耗 P_{sw} , 即

$$P = P_{\text{sat}} + P_{\text{sw}} = P_{\text{sat}} + E_{\text{sw}} f_s$$

式中 E_{sw} —— 开关一次所消耗的能量;

f_s —— 开关频率。

通态损耗 P_{sat} 反映了 IGBT 全导通状态下的损耗。当开关频率较低时, 通态损耗占总损耗的主要部分, 随着开关频率的升高, P_{sw} 在总损耗中所占的比例迅速上升。当开关频率较高时, IGBT 需降额使用, 以免其温升过高, 导致器件损坏。IGBT 模块的功耗包括 IGBT 桥臂的功耗以及反并联续流

二极管的通态损耗, 涉及到的公式如下:

1) IGBT 的通态损耗: $P_{\text{sat}} = I_{\text{CP}} U_{\text{CE(sat)}} (1/8 + D/3 \pi \cos \phi)$ 。

2) IGBT 的开关损耗: $P_{\text{sw}} = 1 / \pi (E_{\text{(on)}} + E_{\text{(off)}}) \times f_{\text{PWM}}$ 。

3) IGBT 的总功耗为: $P_{\text{T}} = P_{\text{sat}} + P_{\text{sw}}$ 。

4) 反并联续流二极管的通态损耗为: $P_{\text{D}} = I_{\text{CP}} U_{\text{F}} (1/8) - D/3 \pi \cos \phi$ 。

5) IGBT 模块的总功耗: $P_{\text{A}} = P_{\text{T}} + P_{\text{D}}$ 。

式中 I_{CP} —— 变频器正弦波输出电流的峰值

电流;

$U_{\text{CE(sat)}}$ —— 指在 $T_j = 125^\circ\text{C}$ 时, 峰值电流 I_{CP} 下, IGBT 的饱和压降;

D —— PWM 信号占空比;

$\cos \phi$ —— 功率因数;

$E_{\text{(on)}}$ —— 表示 $T_j = 125^\circ\text{C}$ 时, 峰值电流 I_{CP} 下从曲线上可查到的开通能量;

$E_{\text{(off)}}$ —— 表示 $T_j = 125^\circ\text{C}$ 时, 峰值电流 I_{CP} 下从曲线上可查到的关断能量;

f_{PWM} —— 指变频器的 PWM 开关频率;

U_{F} —— 二极管的通态压降。

通过查询相关图表, 确定所需的参数后, 即可计算出所需的 IGBT 模块的总功耗。下面以 EUPEC 公司的 FF300R12KE3 型 IGBT 为例, 代入上述公式, 参数和结果如表 1、表 2 所示。

表 1 参数表

参数	I_{CP}/A	$U_{\text{CE(sat)}}/\text{V}$	D	$\cos \phi$	$E_{\text{(on)}}/\text{mJ}$	$E_{\text{(off)}}/\text{mJ}$	$f_{\text{PWM}}/\text{kHz}$	U_{F}/V
值	$150/\sqrt{2}$	2	0.637	1	31	17	4	1.65

表 2 功耗表 (单位: W)

参数	P_{sat}	P_{sw}	P_{T}	P_{D}	P_{A}
值	81.9	61.1	143	20	163

取单个 IGBT 模块的热功耗为 200 W, 此系统共包含有 6 个 IGBT 模块, 即系统总功耗为 1 200 W, 下面利用热分析软件 Flotherm 对系统进行建模和仿真分析。

3 变频器系统建模

3.1 环境设定

机箱外部环境温度为 35°C , 空气之间的换热系

数为 $5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 。气流状态为紊流，速度为 0.5 m/s 。系统求解域定义为箱体体积的10倍，系统求解的迭代次数设为400。

3.2 模型建立

3.2.1 IGBT 建模

IGBT 外形如图 1 所示，其下底面为 Al 或 Cu 的底板（厚度为 3 mm），外壳为绝缘材料（整体高约为 23 mm）。本次采用将 IGBT 实体用铜合金 Copper(Aluminized)建模，其一面紧贴散热器，厚度为 3 mm(只对底板建模)。

3.2.2 散热器建模

散热器采用肋片结构，如图 2 所示，外形尺寸为： $675.6 \text{ mm} \times 652 \text{ mm} \times 73 \text{ mm}$ ，肋片间距 7 mm，根部厚度 15 mm。

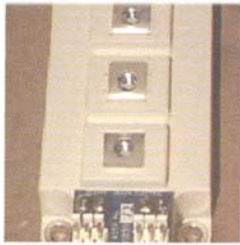


图 1 IGBT 模块实物图



图 2 散热器模型

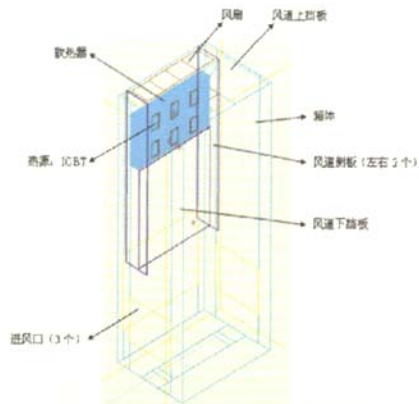


图 3 系统模型

3.2.3 风扇建模

由于机箱散热主要采用强制对流方式，所以传导和辐射的作用忽略不计。本系统采用5个同样规格型号的位于机箱顶端的风扇（其中4个为一组，另1个为一组）抽风，机箱下部有3个进风口。风扇尺寸为 $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 51 \text{ mm}$ ，最大风量为 $190 \text{ ft}^3/\text{min}$ ($1 \text{ ft} = 0.3048 \text{ m}$)，转速 2700 r/min ，功率 44 W ，总系统模型如图 3 所示。

3.3 网格划分

本系统建立了两种局部网格，将它们分别应用于散热器 (Heat sink) 和热源 (Heat)，对其系统其他部分采用 Coarse (粗糙) 网格，最后系统的总体网格分布情况如图 4 所示。

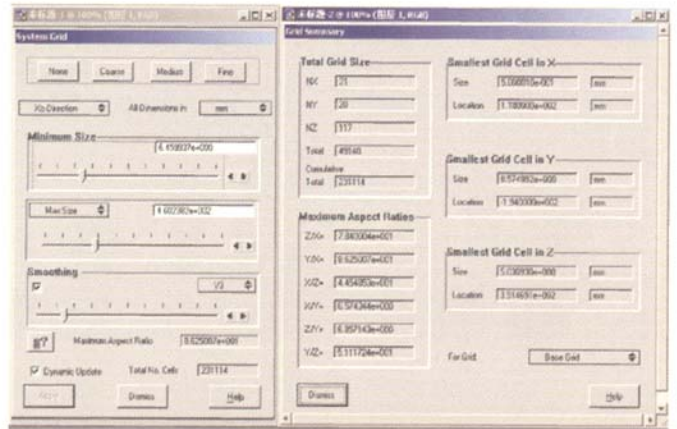


图 4 系统网格设定

4 仿真分析

4.1 热分析曲线

图 5 的左边为 Residuals v iteration 1 曲线，右边为 Monitor v iteration 1 曲线。两曲线横坐标为

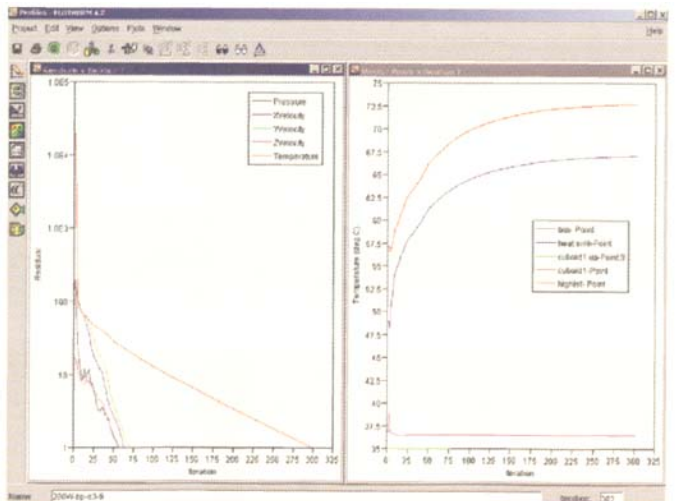


图 5 热分析曲线图

Iteration (迭代次数)，左边的纵坐标为 Residual (残差)，右边的纵坐标为 Temperature。由左边可见残

差曲线收敛,说明系统的散热稳定,即每时每刻系统所产生的热量都可以及时地散到系统外。右边显示的是采样点的实时温度,其中最上端的曲线为与 IGBT 相接触的散热器上表面中心点的温度(大致为散热器上表面的平均温度),其值约为 73℃,可见与实际工作时温度大致相符。

4.2 温度分布

内部热流分布如图 6 所示,图中平面为散热器上表面(散热器与发热模块直接接触的表面)的温度分布,可见最大温度点出现在 IGBT 与散热器的接触面上,约为 110℃ 左右。

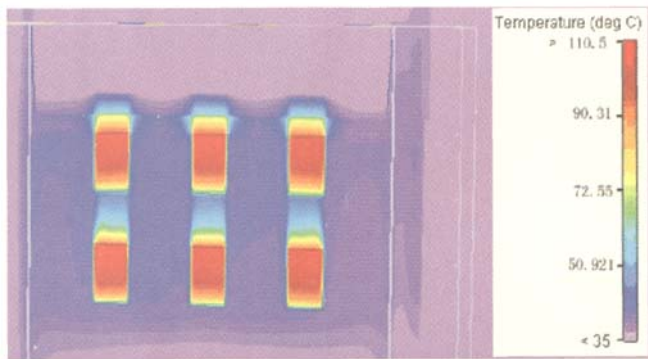


图 6 温度分布图

4.3 气流分布

气流分布如图 7 所示,气流流速最大的区域为风扇周围空间,速度约为 5 m/s,其他区域气体流速较低。

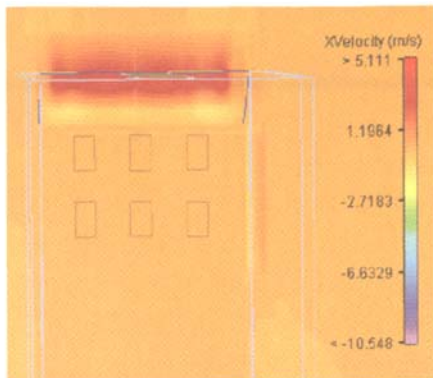


图 7 气流分布图

5 结束语

Flotherm 作为目前市场上的几大主流散热分析软件之一,主要作用是对系统散热的定性分析。其建模过程以及参数的设定具有一定的估算性,导致分析结果与实际测量值之间势必存在着一定误差,所以实际设计时应留有余量,不能完全依靠软件分析的结果。

但是就其对系统散热的稳定性以及温度走势等的定性分析,还是真实可信的。软件模拟,成本低,且简单易行,对系统结构设计之前的方案评估以及确定,都具有一定的参考意义。**EM**

(收稿日期:2008.01.06)

产·品·快·讯

世界首台 320 Mvar 特高压电抗器在西安通过型式试验

2008年3月9日,由我国自主设计、自主制造的国际上电压等级最高、容量最大的1000 kV、320 Mvar 高压并联电抗器在西安一次通过全部型式试验。这是继1000 kV、240 Mvar 高压并联电抗器之后,第二种特高压线圈类产品成功通过试验验证,标志着我国特高压交流工程建设取得重大进展、电工装备制造业自主创新取得重大突破。

2005年以来,西安西电变压器有限责任公司在国家电网公司的组织部署下,开始投入大量资源进行科研攻关,充分借鉴国内外同类产品制造运行的经验教训,认真听取国内外专家的咨询

意见,进行了全面系统的理论计算和大量模型试验,并投入巨资进行了1:1样机试制,反复研究,反复论证,反复优化。最终产品采用两柱串联结构,在局部放电控制、局部过热控制和振动噪声抑制等方面使用了多项国际领先技术。试验结果表明,产品的绝缘耐受能力等各项性能完全满足工程要求,并且达到了国际同类产品的最高水平。

国家电网公司特高压建设部、中国电力科学研究院、国网武汉高压研究院、山西电力试验研究院、意大利CESI公司和业内多名资深专家对产品试验进行了全过程见证。