

文章编号:1005—0523(2006)05—0105—04

高压变频器散热系统的设计与研究

黄 炜¹, 何人望¹, 周 瑜²

(1. 华东交通大学 电气与电子工程学院; 江西 南昌 330013; 2. 西安交通大学 电力设备电气绝缘国家重点实验室 710049)

摘要:针对6KV/2.5KW的高压变频器散热系统进行了研究与设计.在对高压变频器散热系统提出总体要求的情况下,通过对散热器的设计和选择来对高压变频器主要器件(如:IGCT,二极管等)进行散热方面的保护.而后,对风机和风道进行设计,并通过气体体积流量数据证明散热系统能够满足高压变频器运行的需要.

关键词:高压变频器;散热器;IGCT;风机;风道

中图分类号:TM921

文献标识码:A

1 引言

随着电力电子装置向小型化和轻量化发展,更有效的散热技术成为了研究的重点,而如何设计出符合系统要求的散热系统则是电力电子装置研究中的热点与难点之一^[1].高压变频器的散热系统,主要是针对功率半导体开关器件来设计.原因在于高压变频器发热的绝大部分是由于功率开关器件的损耗功率所引起的,或者说功率开关器件是高压变频器主要的热量来源.而功率开关器件本身对温度又比较敏感,温度的变化会影响器件的开通、关断过程,影响高压变频器的工作性能.而且当温度过度增高时,甚至会导致功率开关器件的永久损坏,从而使变频器无法工作.因此,大功率高压变频器的散热系统设计的好坏,直接关系到变频器能否安全稳定的工作.

2 高压变频器散热系统设计的总体要求

现今,在高压变频器的散热系统中,一般有强迫风冷散热和水冷散热两种方式.有资料表明,强制风冷的散热效果是自然风冷的10~20倍;水冷的散热效果是自然冷却的100~120倍^[2].虽然后者具

有极高的散热效率,但通常系统结构复杂,造价昂贵.因此,在本次设计高压变频器的散热系统时,采用强迫风冷散热.

散热器的主要功能是保护半导体器件使其免受作为自身副产品产生的热量扰动而不正常运行.实际上,热传输与电传输有着极大的相似性,传输过程也有稳态和瞬态之分.热传输遵从热路欧姆定律:

$$\Delta T = PR_{th} \quad (1)$$

式中: ΔT —温度差 $^{\circ}\text{C}$ (相当于电势差); P —耗散的功率 W (相当于电流); R_{th} —热阻 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ (相当于电阻).

从上式出现的热阻主要由三部分组成:PN结—管壳的热阻 R_{thjc} ,管壳—散热器的热阻 R_{thcs} ,散热器—环境介质的热阻 R_{thsa} .其中第一种热阻由生产器件的厂家决定,是个定值,后两种热阻都可以通过选择不同的散热器而改变.我们在进行择散热的设计时,主要的也就是通过选择合适的后两种热阻以达到散热要求.在多数情况下,(1)式常常写成如下形式:

$$\Delta T = P(R_{thjc} + R_{thcs} + R_{thsa}) \quad (2)$$

除冷却方式和热阻 R_{th} 之外,在高压变频器散热系统的设计中以下参数是必须预先给定的^[3]:

* 占据空间的有效容积;

收稿日期:2006—01—24

作者简介:黄 炜(1980—),男,江西新余人,硕士研究生,研究方向为电力电子技术,电力系统自动化.

- * 电力半导体器件的最高允许结温 T_{jmax} ;
- * 电力半导体器件的耗散功率 P_{Loss} ;
- * 电力半导体器件工作时的最高环境温度 T_A ;

那么,我们在已知上述条件下,可以得出总的最大容许热阻,并进而可以确定所需散热器的性能要求指标.最大容许热阻为:

$$R_{th}=R_{thjc}+R_{thcs}+R_{thsa}=(T_{jmax}-T_A)/P_{loss} \quad (3)$$

对于风机选择和风道的设计应作如下条件约束.在强迫风冷方式下,散热器的热阻与风机提供的风压和风量有较大的关系.风机的风压应该根据在散热器设计时所需要的热阻,通过查找热阻—风压曲线来确定.风机的风量可以采用如下经验公式:

$$P=\frac{Q\times 10^{-3}}{\rho c(T_0-T_A)} \quad (4)$$

式中: Q —柜内总发热量, W; ρ —空气密度, kg/m³; c —空气的比热容, kJ/(kg·K); P —流量, m³/s; T_0 —排气口的空气温度, °C; T_A —环境温度, °C.

这样,根据风压和风量,就基本上可以确定风机的型号.而风道设计的基本原则是:一方面应该引导气流冲击散热器的散热表面,从而增强热交

换,提高散热效果,另一方面要减少风道的风阻,以防止气流的压头损失过大.此外,出口风道还应保证热气流能顺利排出.

3 6kV/2.5kw 高压变频器散热系统的具体设计

3.1 高压变频器的主电路结构

图 1 所示的为所要研究的高压变频器的主电路结构,它采用 24 脉波不控整流桥和中性点箝位三电平 SPWM 逆变桥构成^[4,5].

3.2 整流桥主要功率器件二极管的散热损耗

在散热设计时应先计算各种功率器件上的损耗.首先,对二极管整流时的功耗进行计算,二极管整流时的功率损耗计算式可以参考下式:

$$P_{Diode}=\delta I_m V_F+0.5 I_m V_{DM} t_{rr} f+(1-\delta) I_m V_R \quad (5)$$

式中: δ —占空比; I_m —导通电流最大值, A; V_F —二极管导通压降, V; V_{DM} —截止承受反向电压, V; t_{rr} —反向恢复时间, s; I_m —漏电流, A; V_R —反向电压.

由(5)和(3)式可以计算出整流桥的散热器所需要的热阻,考虑一定安全裕量的情况下,二极管散热器的热阻计算出应为 0.15°C/W 左右.

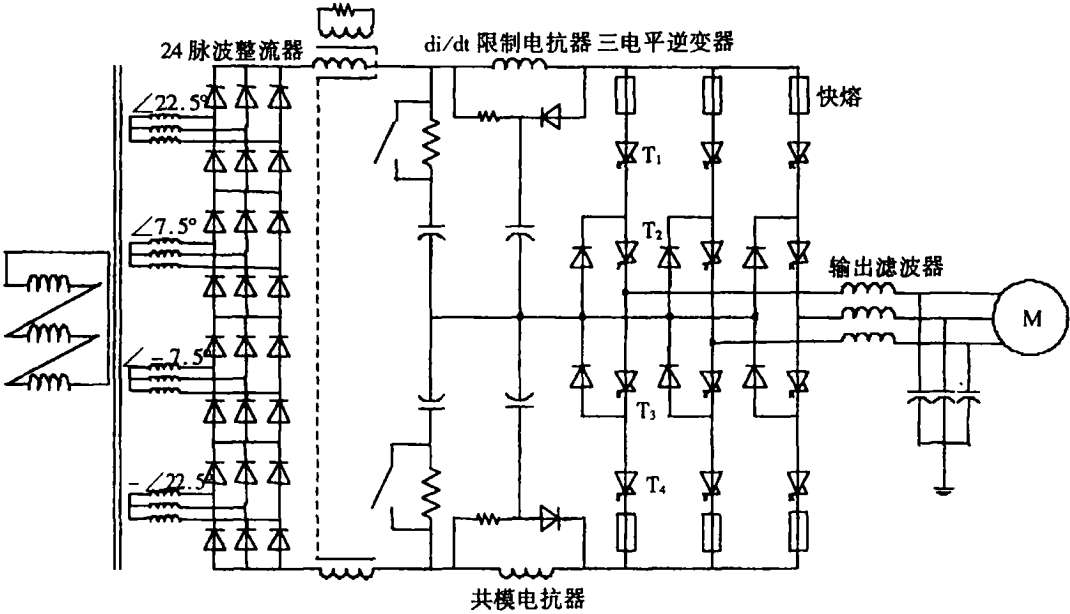


图 1 6kV/1 000kW 三点平逆变器电路结构

3.3 逆变桥主要功率器件 IGCT 的散热损耗

三电平逆变器的开关器件的损耗与开关器件的工作状态有很大的关系.对于三电平逆变桥,由图 1 可知, $T1$ 、 $T4$ 只在半个工频周期内处于开、关

状态,存在开关损耗,而在另半个工频周期内始终处于截止状态,可以近似考虑无损耗. $T2$ 、 $T3$ 在半个工频周期内处于开、关状态,存在开关损耗,而在另半个工频周期内一直处于导通状态,存在通态损

耗.因此, T_2 、 T_3 的发热最厉害,对散热的要求也最高,在设计散热时要特别注意.

IGCT 的通态损耗可以根据 IGCT 导通时的饱和压降和电流来计算,如式(6):

$$P_{on-state}(T)=V_{T0}I_{TAV}+\gamma TI_{rms}^2 \tag{6}$$

式中: V_{T0} —IGCT 通态时门槛电压, V; I_{TAV} —等效电流, A; r_T —通态电阻, Ω ; I_{rms} —电流有效值, A.

IGCT 的开、关损耗为:

$$P_{sv}(T)=(E_{on}+E_{off})\cdot f_{sv} \tag{7}$$

式中: E_{on} —IGCT 开通损耗, J; E_{off} —IGCT 关断损耗, J; f_{sv} —开关频率, Hz.

IGCT 的开通损耗和关断损耗可根据产品手册上的相关曲线查取.因此,IGCT 的总损耗为:

$$P(T)=P_{on-state}(T)+P_{sv}(T) \tag{8}$$

由式(8)和式(3)可以计算出 IGCT 用散热器的热阻.根据 IGCT 产品手册提供的相关数据和并考虑实际的需要,IGCT 的热阻计算出应小于 $0.04^{\circ}\text{C}/\text{W}$.

3.4 散热器的选择

根据以上的计算,我们选择的散热器为西安电子科技有限责任公司研制的 XF97—A 型的散热器. XF97—A 型的散热器是专门为 IGCT 器件散热设计的,它具有体积小,散热面积大,散热效率高等特点.表 1 给出了它的散热特性.由表 1 可以看出,在风压和风量适合的条件下,该型号的散热器可以满足 IGCT 散热时的使用要求.

表 1 XF97—A 型风冷散热器热特性表(管心直径 78mm)

风压/Pa	300	400	500	600	700	800
风量	38	45	51	56	60	65
单面散热热阻/ K/kW	30.0	28.0	26.3	25.2	24.4	23.7
双面散热热阻/ K/kW	41.2	37.1	34.7	32.9	31.2	30.0

3.5 风机选型和风道设计

在风机选型和风道设计时,应先计算出的每个柜体的总热量.在发热量计算时,除了考虑功率开关器件的损耗外,还需要考虑回路母线的发热和吸收回路的损耗.然后根据式(4),可以计算出所需风机的风量大小;根据散热器热阻要求,可以确定风机的风压.从而可以确定所需风机参数,选择适当的风机.计算表明,当逆变侧采用 3 个功率柜时,每个柜体的总发热量约为 11 kW 左右.考虑风道引起的风压损失等因素,每个柜体所需风机的风量不应低于 $1\,000\text{ L}/\text{s}$,风压不低于 700 Pa .

变频器散热系统结构采用了前进风,后出风的方案,如图 2 所示.柜体的前部用于安装 IGCT 组件,柜体后部为一个独立的封闭风腔,IGCT 组件中的每一个散热器都通过独立的引风罩与风腔相连.置于柜体顶部的抽风机迫使外部气流从前门进风口进入柜体内,穿过 IGCT 组件的散热器并发生热交换后被引入到风腔,然后经出风口排出.由于组件的每个散热器都通过独立的风罩与风腔密封连接,迫使气流通过散热器齿间间隙,因此保证了气流与散热器的热交换面积,提高了气流的利用率.为了保证进入柜体的气流洁净,还应在入风口设置滤网.

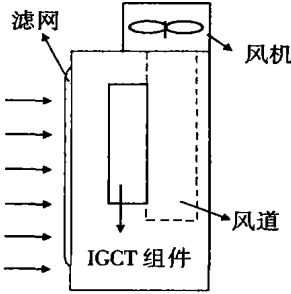


图 2 高压变频器风道设置和进风方式

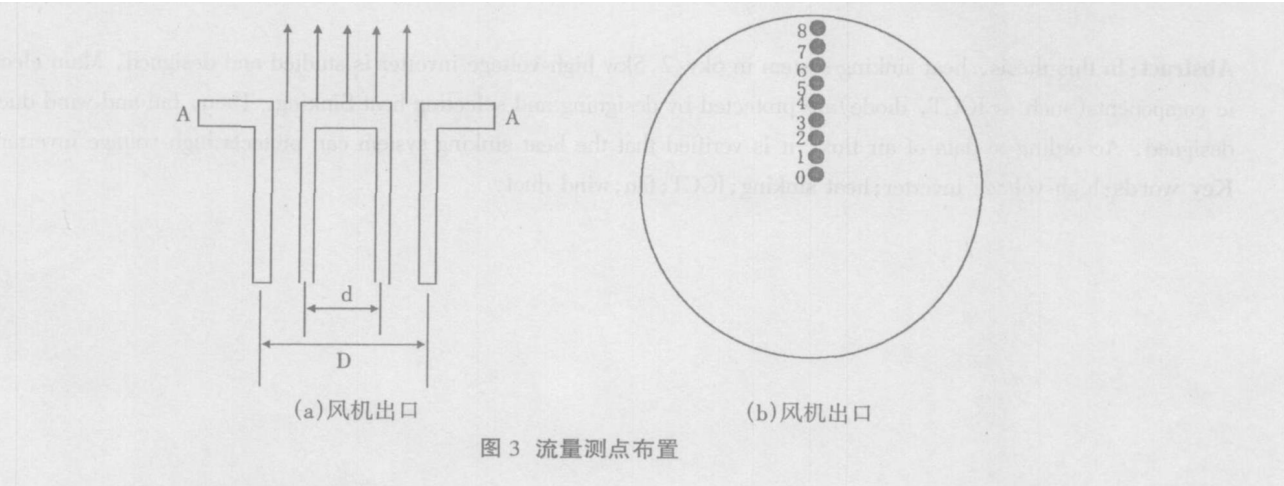


图 3 流量测点布置

为验证设计的风道及选择的风机是否满足散热的基本要求,对图 2 所示柜体的布局进行了空气流量的测量.测量断而选在风机出口的 A—A 面上,如图 3 所示,共设置 9 个测点,各测点的半径分别为: $r_0=0$, $r_1=25\text{ mm}$, $r_2=50\text{ mm}$, $r_3=75\text{ mm}$, $r_4=100$

mm , $r_5=125\text{ mm}$, $r_6=150\text{ mm}$, $r_7=175\text{ mm}$, $r_8=199\text{ mm}$.
表 2 所示实验采用毕托管测量气流速度的测量数据.由测试的结果可见,设计的风道和选择的风机均能满足散热要求.

表 2 流量测量数据(300V 时,气体体积流量 $Q=1\,000\text{ L/s}$;400V 时,气体体积流量 $Q=1\,333\text{ L/s}$)

测点序号 i	风机风压/V	0	1	2	3	4	5	6	7	8
测点半径 r_i/mm	300	0	25	50	75	100	125	150	175	199
	400									
液柱长度 L/mm	300	12	11	11	12	45	34	21	18	13
	400	16	15	15	16	52	45	48	20	17
速度 m/s	300	6.796	6.501	6.501	7.075	12.808	11.140	9.007	8.352	6.803
	400	7.985	7.239	7.240	7.987	14.309	12.797	13.949	8.965	8.227

4 结语

对 6 kV/2.5 kW 高压变频器的散热系统进行了研究与设计.在提出总体要求的情况下,针对高压变频器主要器件进行散热设计并选择出了散热器型号和风机、风道.而后,对气体流量进行测量与记录,气体体积流量数据证明散热系统能够满足高压变频器运行的需要.

参考文献:

[1] 费万民,姚文熙,吕征宇,等.中高压变频调速技术综述

[J].电力电子技术.2002,63,(2):74~78.
[2] 杨旭,马静,张新武,王兆安,等.电力电子装置强制风冷散热方式的研究[J].电力电子技术,2000,34(4):36~38.
[3] 张舟云,徐国卿,沈祥林.牵引逆变器散热系统的分析与设计[J].同济大学学报.2004,38(15):67~72.
[4] 刘文华,宋强,严干贵,等.采用 IGBT 电压型三电平逆变器的高压变频调速器[J].电力系统自动化.2002,26(20):61~65.
[5] Wang Dan, Mao Chengxiong, Lu Jiming, et al. Design of Snubber for Series IGBTs Used in High Power and Medium Voltage Converter [A]. 38th International Universities Power Engineering Conference (UPCE)[C]2003: 157~160.

Research and Design of Heat Sinking in High-voltage Inverters

HUANG Wei¹, HE Ren-wang¹,ZHOU Yu²

(1.School of Electrical and Electronic Eng., East China Jiaotong Univ., Nanchang 330013; 2.State Key Laboratory of Electrical Insulation and Power Equipment, Xi'an Jiaotong University, 710049,China)

Abstract: In this thesis, heat sinking system in 6kv/2.5kw high-voltage inverter is studied and designed. Main electronic components(such as IGBT, diode)are protected by designing and selecting heat Sinking. Then, fan and wind duct are designed. According to data of air flux, it is verified that the heat sinking system can protects high-voltage inverter.
Key words: high-voltage inverter;heat sinking;IGBT ;fan;wind duct.