



对磁场的抑制方法如下:

- (1) 减小干扰源和敏感电路的环路面积;
- (2) 增大线间的距离,使耦合干扰源与敏感电路之间的互感尽可能小;
- (3) 最好使干扰源与敏感电路呈直角布线,以便大大降低线路之间的耦合。

另外,通过分析印制导线的特性阻抗,来选取印制导线的放置方式、长度、宽度及布局方式。单根导线的特性阻抗由直流电阻  $R$  和自感  $L$  组成,印制线  $l$  越短,直流电阻  $R$  就越小;同时增加印制线的宽度和厚度也可以降低直流电阻  $R$ 。印制线长度  $l$  越短,自感  $L$  就越小,而且增加印制线的宽度  $b$  也可以降低自感  $L$ 。而多根印制线的特性阻抗除了由直流电阻  $R$  和自感  $L$  组成之外,还有互感  $M$  的影响,互感  $M$  除了受印制线的长度和宽度的影响之外,印制线之间的距离也起着重要的作用,增大两线的间距可以减少互感。针对以上现象,在设计印制电路板时,应尽量降低电源线和地线的阻抗,因为电源线、地线和其他印制线都有电感,当电源电流变化较大时,将会产生较大的压降,而地线压降是形成公共阻抗干扰的重要因素,所以应尽量缩短地线,也可以尽量加粗电源线和地线线条。在双面印制板设计中,除了尽可能地加粗电源线和地线线条之外,还应在地线和电源线之间安装高频特性好的去耦电容。

### 14.3 开关电源的可靠性设计<sup>[3]</sup>

目前,人们对可靠性认识上的主要误区是把可靠性完全归结为元器件的可靠性和制造装配的工艺,忽略了系统设计和环境温度对可靠性的决定性作用。根据美国海军电子实验室的统计,整机出现故障的原因和各自所占的百分比见表 14-2。

表 14-2 整机故障原因和各自所占的百分比

故障原因	占总失效数的百分数(%)
设计上的原因	40
元器件质量上的原因	30
操作和维护上的原因	20
制造上的原因	10

在民用电子产品领域,日本的统计资料表明,可靠性问题 80% 源于设计方面(日本把元器件的选择、质量级别的确定、元器件的负载率等部分也归入到设计上的原因)。以上两方面的数据表明,设计及元器件(元件的造型、质量级别的确定、元器件的负载率)的原因造成的故障,在开关电源故障原因中占 80% 左右。减少这两方面造成的开关电源故障,具有重要意义。总之,对系统的设计者来说,需要明确建立“可靠性”这个重要概念,把系统的可靠性作为重要的技术指标,认真对待开关电源的可靠性设计工作,并采取足够的措施提高开关电源的可靠性,才能使系统和产品达到稳定、可靠的目标。



### 14.3.1 可靠性的定义、指标及影响的因素

#### 1. 可靠性的定义及指标

国际上通用的可靠性定义为:在规定的条件下和规定的时间内,完成规定功能的能力。这个定义适合于一个系统,也适合于一台设备或一个单元。描写这种随机事件的概率可以用来作为表征开关电源可靠性的特征量和特征函数。从而引出可靠度 $[R(t)]$ 的定义:系统在规定的条件下和规定的时间内,完成规定功能的概率。

如果系统在开始( $t=0$ )时有  $n_0$  个元件在工作,而在时间为  $t$  时仍有  $n$  个元件在正常工作,则

$$\text{可靠性} \quad R(t) = n/n_0, 0 \leq R(t) \leq 1$$

$$\text{失效率} \quad \lambda(t) = \left(\frac{dn}{dt}\right) \frac{1}{n}$$

$\lambda$  定义为此种产品在单位时间内的故障数,即  $\lambda = \frac{dn}{dt}$

$$\text{如果失效率 } \lambda(t) \text{ 为常数,则} \quad \begin{aligned} dn/dt &= -C_n \\ n &= n_0 e^{-\lambda t} \end{aligned}$$

$$R(t) = e^{-\lambda t}, 0 < t < \text{工作寿命}$$

$$\text{MTBF(平均无故障时间)} = 1/\lambda$$

平均无故障时间(MTBF)是开关电源的一个重要指标,用来衡量开关电源的可靠性。

#### 2. 影响开关电源可靠性的因素

从各研究机构研究的成果可以看出,环境温度和负载率对可靠性的影响很大,这两个方面对开关电源由于有很大的影响,所以下面将从这两个方面分析如何设计出高可靠的开关电源。其中, $P_D$  为使用功率; $P_R$  为额定功率。 $U_D$  为使用电压; $U_R$  为额定电压。

##### 1) 环境温度对元器件的影响

表 14-3 ~ 表 14-5 分别列出环境温度对半导体器件、电容器和电阻器可靠性的影响。表 14-3 和表 14-5 以  $P_D/P_R = 0.5$  使用负载设计,而表 14-4 则以  $U_D/U_R = 0.65$  使用负载设计。

表 14-3 环境温度对半导体器件可靠性的影响

环境温度 $T_a$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	20	50	80
失效率 $\lambda$	500	2500	150000

由表 14-3 可知,当环境温度  $T_a$  从  $20^{\circ}\text{C}$  增加到  $80^{\circ}\text{C}$  时,半导体器件的失效率增大到 30 倍。

由表 14-4 可知,当环境温度  $T_a$  从  $20^{\circ}\text{C}$  增加到  $80^{\circ}\text{C}$  时,电容器的失效率增大到 14 倍。



表 14-4 环境温度对电容器可靠性的影响

环境温度 $T_a$ (°C)	20	50	80
失效率 $\lambda$	5	25	70

从表 14-5 可知,当环境温度  $T_a$  从 20°C 增加到 80°C 时,电阻器的失效率增大到 4 倍。

表 14-5 环境温度对电阻器可靠性的影响

环境温度 $T_a$ (°C)	20	50	80
失效率 $\lambda$	1	2	4

## 2) 负载率对元器件的影响

表 14-6 和表 14-7 分别列出了负载率对半导体器件、电阻可靠性的影响。

由表 14-6 可知,当  $P_D/P_R = 0.8$  时,半导体器件的失效率是  $P_D/P_R = 0.2$  时的 1000 倍。

表 14-6 负载率对半导体器件、电阻可靠性的影响(环境温度 50 °C)

$P_D/P_R$	0.2	0.5	0.8
失效率 $\lambda$	500	2500	150000

从表 14-7 可知,当  $P_D/P_R = 0.8$  时,电阻器的失效率是  $P_D/P_R = 0.2$  时的 8 倍。

表 14-7 负载率对电阻器可靠性的影响

$P_D/P_R$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
失效率 $\lambda$	0.25	0.5	1.2	2.5	4.0	7.0

### 14.3.2 可靠性设计的原则与可靠性设计

#### 1. 可靠性设计的原则

从上面的分析可以得出开关电源可靠性的设计原则如下:

(1) 可靠性的设计指标应包含定量的可靠性要求。

(2) 可靠性设计应与器件的功能设计相结合,在满足器件性能指标的基础上,尽量提高器件的可靠性水平。

(3) 应针对器件的性能水平、可靠性水平、制造水平、研制周期等相应的制约因素进行综合平衡设计。

(4) 在可靠性设计中,应尽可能采用国内外成熟的新技术、新结构、新工艺和新原理。

(5) 对于关键性的元器件,采用并联方式,保证此单元有足够的冗余度。



- (6) 原则上要尽可能减少元器件的使用数目。
- (7) 在同等体积下应尽可能采用高额定度的元器件。
- (8) 选用高质量等级的元器件。
- (9) 原则上不采用或尽量少采用电解电容。
- (10) 对电源进行合理的热设计,控制环境温度,不致因温度过高导致元器件的失效率增加。
- (11) 应尽量选用硅半导体器件,少用或不用锗半导体器件。
- (12) 应采用金属封装、陶瓷封装、玻璃封装的器件,禁止选用塑料封装的器件。

## 2. 可靠性设计

### 1) 负载率的设计

由于负载率对可靠性有重大影响,故可靠性设计重要的一个方面是负载率的设计,根据元器件的特性及实践经验,元器件的负载率在下列数值时,电源系统的可靠性及成本是较优的。

(1) 半导体元器件。半导体元器件的电压降额系数应在 0.6 以下,电流降额系数应在 0.5 以下。半导体元器件除了负载率之外,还有容差设计。设计开关电源时,应适当放宽半导体元器件的参数允许变化范围,包括制造容差、温度漂移、时间漂移、辐射导致的漂移等。以保证半导体元器件的参数在一定范围内变化时,开关电源仍能正常工作。

(2) 电容器。电容器的负载率(工作电压和额定电压之比)最好在 0.5 左右,一般不要超过 0.8,并且尽量使用无极性的电容器。而且,在高频应用的条件下,电压降额幅度应进一步加大,对电解电容器更应如此。应特别注意,电容器有低压失效的问题,对于普通铝电解电容器和无极性电容器的电压降额系数不低于 0.3,但钽电容器的电压降额系数应在 0.3 以下。电压降额不能太多,否则电容器的失效率将上升。

(3) 电阻器、电位器。电阻器、电位器的负载率要小于 0.5,此为电阻器设计的上限值;但是大量的试验证明,当电阻器降额系数低于 0.1 时,将得不到预期的效果,失效率有所增加,电阻器降额系数以 0.1 为可靠性降额设计的下限值。

总之,对各种元器件的负载率只要有可能,一般应保持在 0.3 左右,最好不要超过 0.5。这样的负载率,对电源系统造成不可靠的概率是非常小的。

### 2) 电源的热设计

开关电源内部的温升过高,将会导致对温度敏感的半导体器件、电解电容等元器件的失效。当温度超过一定值时,失效率呈指数规律增加。有统计资料表明,电子元器件温度每升高  $2^{\circ}\text{C}$ ,可靠性就要下降 10%;温升  $50^{\circ}\text{C}$  时的寿命只有温升  $25^{\circ}\text{C}$  时的  $1/6$ 。除了电应力之外,温度是影响开关电源可靠性的最重要的因素。高频开关电源有大功率的发热器件,温度更是影响其可靠性的最重要的因素之一。完整的热设计包括两个方面:一是如何控制发热源的发热量;二是如何将发热源产生的热量散发出去,使开关电源的温升控制在允许的范围之内,以保证开关电源的可靠性。下面从两个方面加以说明。



### (1) 控制发热量的设计

开关电源中主要的发热元器件为半导体开关管、功率二极管、高频变压器、滤波电感等。不同的元器件有不同的控制发热量的方法。功率管是高频开关电源中发热量较大的器件之一,减小它的发热量,不仅可以提高功率管的可靠性,而且还可以提高开关电源的可靠性,提高平均无故障时间(MTBF)。开关管的发热量是由损耗引起的,开关管的损耗由开关过程损耗和通态损耗两部分组成,减小通态损耗可以通过选用低通态电阻的开关管来减小通态损耗;开关过程损耗是由于栅电荷大小及开关时间引起的,减小开关过程损耗可以选择开关速度更快、恢复时间更短的器件来实现。但更为重要的是通过设计更优的控制方式和缓冲技术来减小损耗,如采用软开关技术,可以大大减小这种损耗。减小功率二极管的发热量,对交流整流及缓冲二极管,一般情况下不会有更好的控制技术来减小损耗,可以通过选择高质量的二极管来减小损耗。对于变压器次级的整流可以选择效率更高的同步整流技术来减小损耗。对于高频磁性材料引起的损耗,要尽量避免集肤效应,对于集肤效应造成的影响,可以采用多股细漆包线并绕的办法来解决。

### (2) 开关电源的散热设计

功率 MOSFET 管导通时有一定的压降,也即器件有一定的损耗,它将引起芯片的温升,但是器件的发热情况与其耐热能力和散热条件有关。由此,器件功耗有一定的容限。其值按热欧姆定律可以表示为:

$$P_D = (T_j - T_c) / R_T \quad (14-5)$$

式中  $T_j$ ——额定结温( $T_j = 150\text{ }^\circ\text{C}$ );

$T_c$ ——壳温;

$R_T$ ——结到管壳之间的稳态热阻。

$T_j$  代表器件的耐热能力, $T_c$  和  $R_T$  代表器件的散热条件,而  $P_D$  则是器件的发热情况。它必须在器件的耐热能力和散热条件之间取得平衡。

散热有三种基本方式:即热传导、热辐射和热对流。根据散热的方式,可以选用自然散热;加装散热器;或选择强制风冷:加装风扇。加装散热器主要是利用热传导和热对流,即所有的发热元器件都固定在散热器上,热量通过传导的方式传递到散热器上,散热器上的热量再通过热对流的方式由空气带出机箱。实际的散热情况为三种传热方式的综合,可以用牛顿公式统一来表达:

$$\Phi = KS\tau \quad (14-6)$$

式中  $S$ ——散热表面积;

$K$ ——表面散热系数。

表面散热系数通常由试验来确定,在一般的工程流体力学中有数据可查。它把传热的三种形式全部统一起来了。

通过  $\Phi = KS\tau$ ,可以在计算出耗散功率之后,根据允许的温升  $\tau$  来确定散热表面积  $S$ ,并由此而确定所要选择的散热器(将在 14.4 节中介绍)。这种计算对于提高开关电源的可靠性、功率密度、性能价格比等,都有重要意义。如果采用强制风冷,如装风扇,则对整流模块

来说,风扇的 MTBF 是所有元器件中最低的,一直都是制约整流模块提高 MTBF 的瓶颈,所以采取各种措施提高散热效率来延长风扇的寿命具有重要意义。

## 14.4 开关电源的几种热设计方法<sup>[4]</sup>

开关电源热设计中常用的几种方法是:为了将发热器件的热量尽快地散发出去,一般采用以下散热方法:即使用散热器、冷却风扇、金属 PCB、散热膏等。在实际设计中要针对客户的要求及最佳费/效比合理地将上述几种方法综合运用到开关电源的设计中。

### 14.4.1 半导体器件的散热器设计

半导体开关器件所产生的热量,在开关电源中占主导地位,其热量主要来源于半导体开关器件的开通、关断及导通损耗。采用软开关方式(ZCS 或 ZVS)可以使电路中的电压或电流在过零时开通或关断,可以最大限度地减少开关损耗,但是也无法彻底消除开关管的损耗,故利用散热器是常用的主要方法之一。

#### 1. 散热器的热阻模型

散热器是开关电源的重要组成元件,它的散热效果的好与坏关系到开关电源的工作性能。散热器通常采用铜或铝,虽然铜的热导率比铝高两倍,但其价格比铝高得多,故目前普遍采用铝型材做散热器。铝型材的表面积越大,其散热效果越好。散热器的热阻模型及其等效电路如图 14-25(a)、(b)所示。

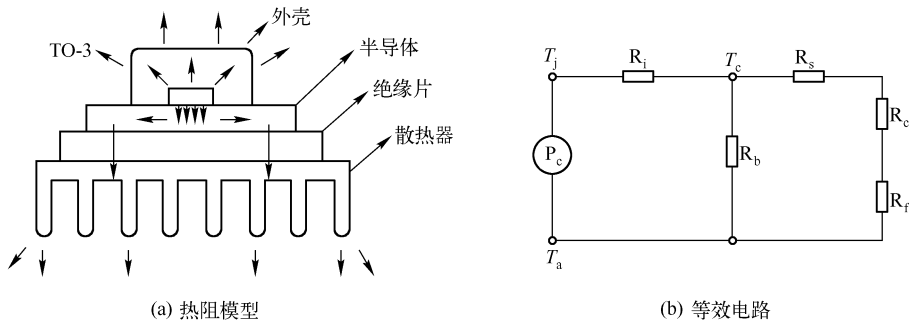


图 14-25 散热器的热阻模型及其等效电路

半导体结温公式如下:

$$P_{c \max}(T_a) = (T_{j \max} - T_a)/R_{j-a} \text{ (W)} \quad (14-7)$$

$$P_{c \max}(T_c) = (T_{j \max} - T_c)/R_{j-c} \text{ (W)} \quad (14-8)$$

式中  $P_c$ ——功率开关管工作时的损耗;

$P_{c \max}$ ——功率开关管的额定最大损耗;

$T_j$ ——功率开关管的结温;

$T_{j \max}$ ——功率开关管的最大允许结温;



- $T_a$ ——环境温度；  
 $T_c$ ——预定的工作环境温度；  
 $R_s$ ——绝缘垫热阻；  
 $R_c$ ——接触热阻(半导体管和散热器的接触部分)；  
 $R_f$ ——散热器的热阻(散热器与空气)；  
 $R_i$ ——内部热阻(PN 结结合部与外壳封装)；  
 $R_b$ ——外部热阻(外壳封装与空气)。

根据图 14-25(b)所示的热阻等效电路,全热阻可以写成为

$$R_{j-a} = R_i + [R_b \cdot (R_s + R_c + R_f)] / (R_b + R_s + R_c + R_f) \quad (14-9)$$

因为  $R_b \gg (R_s + R_c + R_f)$ , 故可以近似认为

$$R_{j-a} = R_i + R_s + R_c + R_f \quad (14-10)$$

(1) PN 结与外部封装之间的热阻抗(又叫内部热阻抗) $R_i$ 与半导体 PN 结构造、所用材料、外部封装内的填充物直接相关,每种半导体都有自身固有的热阻抗。

(2) 接触热阻抗  $R_c$  是由半导体、封装形式和散热器的接触面状态所决定的。接触面的平坦度、粗糙度、接触面积、安装方式等,都会对它产生影响。当接触面不平整、不光滑或接触面紧固力不足时,就会增大接触热阻抗  $R_c$ 。在半导体管和散热器之间涂上硅油时,可以增大接触面积,排除接触面之间的空气,硅油本身又具有良好的导热性,可以大大降低接触热阻抗  $R_c$ 。

当前有一种新型的相变材料,专门设计用以采取代硅油作为传热界面,在  $65^\circ\text{C}$ (相变温度)时从固体变为流体,从而可以确保界面的完全润湿,该材料的触变特性可以使其避免流到界面外。它的传热效果与硅油相当,但没有硅油带来的污垢,环境污染和难以操作的缺点。可以用于不需要电气绝缘的场合。典型的应用包括 CPU 散热片、功率转换模块,或者其他任何簧片固定的硅油应用场合,它可以涂布在铝质基材的两面,可以单面附胶、双面附胶或不附胶。

(3) 绝缘垫热阻  $R_s$ 。绝缘垫用于半导体器件和散热器之间的绝缘,绝缘垫的热阻抗  $R_s$  取决于绝缘材料的材质、厚度和面积。表 14-8 中列出了几种常用半导体封装形式的  $R_s + R_c$ 。

表 14-8 几种封装形式的  $R_s + R_c$

	绝 缘 垫	$R_s + R_c$	
		硅油	
		有	无
TO-3	无	0.1	0.3
	有(50 ~ 100 $\mu\text{m}$ )	0.5 ~ 0.7	1.2 ~ 1.5
TO-66	无	0.15 ~ 0.2	0.4 ~ 0.5
	有(50 ~ 100 $\mu\text{m}$ )	0.6 ~ 0.8	1.5 ~ 2.0

续表

	绝缘垫	$R_s + R_c$	
		硅油	
		有	无
TO-220AB	无	0.3 ~ 0.5	1.5 ~ 2.0
	有 (50 ~ 100 $\mu\text{m}$ )	2.0 ~ 2.5	4.0 ~ 6.0
TO-3P	无	0.1 ~ 0.2	0.5 ~ 0.9
	有 (50 ~ 100 $\mu\text{m}$ )	0.5 ~ 0.8	2.0 ~ 3.0

(4) 散热器热阻抗  $R_r$ 。散热器的热阻抗  $R_r$  与散热器的表面积、表面积处理方式、散热器表面空气的风速、散热器与周围的温度差有关。因此一般都会设法增强散热器的散热效果, 主要的方法有增加散热器的表面积、设计合理的散热风道、增加散热器表面的风速等。散热器的散热面积设计值如图 14-26 所示。

但是如果过于追求散热器的表面积, 而使散热器的叉指过于密集则会影响到空气的对流, 热空气不易于流动也会降低散热效果。自然风冷时散热器的叉指间距应当增大, 选择强制风冷时, 则可以适当减小叉指的间距, 如图 14-27 所示。

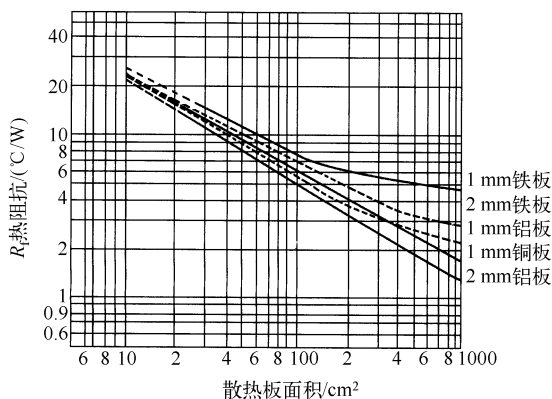


图 14-26 散热器的散热面积设计值

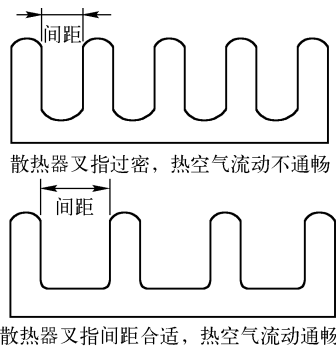


图 14-27 散热器的叉指间距选择

(5) 散热器的表面积计算。

$$S = 0.86 \text{ W}/(\Delta T \cdot \alpha) \quad (\text{m}^2) \tag{14-11}$$

式中  $\Delta T$ ——散热器温度与周围环境温度 ( $T_a$ ) 之差 ( $^{\circ}\text{C}$ );

$\alpha$ ——传导系数, 是由空气的物理性质及空气流速决定的。

$\alpha$  的值可以表示为

$$\alpha = N_u \lambda / L \tag{14-12}$$

式中  $\lambda$ ——热导率由空气的物理性质决定;

$L$ ——散热器高度;





$N_u$ ——空气流速系数。

$N_u$  的值由式(14-13)决定

$$N_u = 0.664 \cdot \sqrt{[V/V']} \cdot \sqrt[3]{P_r} \quad (14-13)$$

式中  $V$ ——动黏性系数,是空气的物理性质;

$V'$ ——散热器表面的空气流速;

$P_r$ ——参数(见表 14-9)。

表 14-9 参数  $P_r$  的值

温度 $t/^\circ\text{C}$	动黏性系数/( $\text{m}^2/\text{s}$ )	热电导率 $\lambda/(\text{kcal}/\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$	$P_r$
0	0.138	0.0207	0.72
20	0.156	0.0221	0.71
40	0.175	0.0234	0.71
60	0.196	0.0247	0.71
80	0.217	0.0260	0.70
100	0.230	0.0272	0.70
120	0.262	0.0285	0.70

## 2. 散热器的设计举例

2SCS5197 在电路中消耗的功率为  $P_{\text{dc}} = 15 \text{ W}$ , 工作环境温度  $T_a = 60^\circ\text{C}$ , 求在正常工作时散热器的面积应是多少?

查 2SCS5197 的产品目录得知:  $P_{\text{c max}} = 80 \text{ W}$  ( $T_c = 25^\circ\text{C}$ ),  $T_{\text{j max}} = 150^\circ\text{C}$ , 且该功率管使用了绝缘垫和硅油。

$$R_s + R_c = 0.8^\circ\text{C}/\text{W}$$

由式(14-8)可得

$$R_i = R_{\text{j-c}} = (T_{\text{j max}} - T_c)/P_{\text{c max}} = (150 - 25)/80 \approx 1.6^\circ\text{C}/\text{W} \quad (14-14)$$

由式(14-7)可得

$$R_{\text{j-a}} = (T_{\text{j max}} - T_a)/P_{\text{dc}} = (150 - 60)/15 = 6^\circ\text{C}/\text{W}$$

由式(14-10)可得

$$R_f = R_{\text{j-a}} - (R_i + R_c + R_s) \approx 6 - (1.6 + 0.8) = 3.6^\circ\text{C}/\text{W}$$

根据上述计算,散热器的热阻抗须选用  $3.6^\circ\text{C}/\text{W}$  以下的散热器。从散热器散热面积设计图中可以查到:使用厚度为  $2 \text{ mm}$  的铝材至少需要  $200 \text{ cm}^2$  的散热器,因此须选用  $140 \text{ mm} \times 140 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$  以上的铝热器。

**注意:** 在实际应用中,  $T_{\text{j max}}$  必须降额使用,以  $80\%$  额定结温来代替  $T_{\text{j max}}$ , 确保功率管可靠地工作。



## 14.4.2 强制通风、金属 PCB 和元件布置

### 1. 自然风冷与强制风冷

在开关电源的实际设计中,通常采用自然风冷与风扇强制风冷两种形式。自然风冷的散热片安装时应使散热片的叶片竖直向上放置,若有可能则可在 PCB 上散热片安装位置的周围钻几个通气孔,便于空气的对流。

强制通风冷却是利用风扇强制空气对流,所以在风道的设计上同样应使散热片的叶片轴向与风扇的抽气方向一致,为了有良好的通风效果,越是散热量大的器件越应靠近排气风扇,在有排气风扇的情况下,散热片的热阻见表 14-10。

表 14-10 在有排气风扇的情况下散热片的热阻

风速(英尺/秒)	热阻( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ )
0	3.5
100	2.8
200	2.3
300	2.0
400	1.8

### 2. 金属 PCB

随着开关电源的小型化,表面贴片元件广泛地应用到实际产品中,这时散热片难以安装到功率器件上。当前克服这个问题的主要方法,是采取金属 PCB 作为功率器件的载体,主要有铝基敷铜板、铁基敷铜板、金属 PCB 的散热性能远好于传统的 PCB,而且可以贴装 SMD 元件。另有一种铜芯 PCB,基板的中间层是铜板绝缘层采用高导热的环氧玻纤布黏结片或高导热的环氧树脂,它可以双面贴装 SMD 元件,大功率 SMD 元件可以将 SMD 自身的散热片直接焊接在金属 PCB 上,利用金属 PCB 中的金属板来散热。

### 3. 发热元件的布置

开关电源中主要的发热元件有大功率半导体器件及其散热器,功率转换变压器,大功率电阻等。发热元件布局的基本要求是按发热程度的大小,由小到大排列,发热量越小的器件越要排在开关电源风道风向的上风处,发热量越大的器件越要靠近排气风扇。

为了提高生产效率,经常将多个功率器件固定在同一个大散热器上,这时应尽量使散热片靠近 PCB 的边缘放置。但与开关电源的外壳或其他部件至少应留有 1 cm 以上的距离。若在一块电路板中有几块大的散热器,则它们之间应平行且与风道的风向平行。在垂直方向上则发热小的器件排在最低层而发热量大的器件排在较高处。

发热器件在 PCB 的布局上应尽可能远离对温度敏感的元器件,如电解电容等。