



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108776735 A  
(43)申请公布日 2018.11.09

(21)申请号 201810576777.0

(22)申请日 2018.06.05

(71)申请人 温州大学

地址 325000 浙江省温州市瓯海经济开发  
区东方南路38号温州市国家大学科技  
园孵化器

(72)发明人 万毅 黄海隆

(74)专利代理机构 北京中北知识产权代理有限  
公司 11253

代理人 陈孝政

(51)Int.Cl.

G06F 17/50(2006.01)

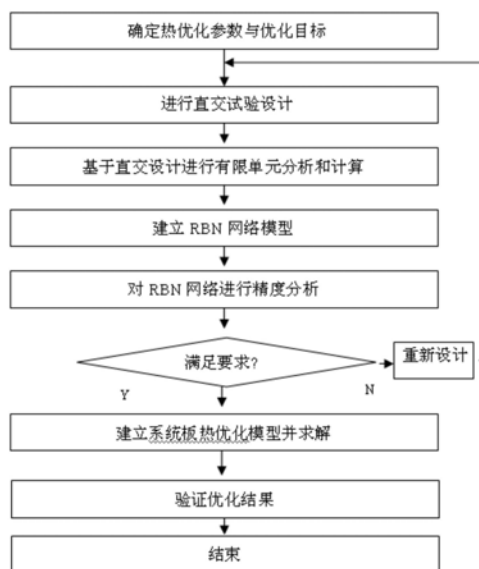
权利要求书2页 说明书11页 附图5页

(54)发明名称

一种电子设备系统板热设计的优化方法

(57)摘要

本发明公开了一种电子设备系统板热设计的优化方法,包括以下步骤:确定影响系统板热可靠性的参数,把系统板的最高结点温度作为优化目标;根据确定的热可靠性的参数和优化目标,进行直交组合设计;形成完备的直交组合设计;设计径向基网络RBN的判定函数和学习法则,运用完备的直交组合设计和对应的系统板最高结点温度对径向基网络RBN进行训练,基于判定函数和学习法则构建系统板最高结点温度的RBN模型;对系统板的最高结点温度RBN模型进行验证和误差测试;利用满足精度的RBFN模型建立电路系统板热优化模型,获得最优的系统板参数。该优化方法,能够实现系统板的热优化设计,大大地提高系统板热可靠性。



1. 一种电子设备系统板热设计的优化方法,其特征在于:包括以下步骤:

(1) 确定影响系统板热可靠性的参数,把系统板的最高结点温度作为优化目标;

(2) 根据确定的热可靠性的参数和优化目标,进行直交组合设计;

(3) 对直交组合设计点分别进行温度场的有限单元分析和计算,得到每一组直交组合设计点对应的系统板最高结点温度,形成完备的直交组合设计;

(4) 设计径向基网络RBN的判定函数和学习法则,运用完备的直交组合设计和对应的系统板最高结点温度对径向基网络RBN进行训练,基于判定函数和学习法则构建系统板最高结点温度的RBN模型;

(5) 对系统板的最高结点温度RBN模型进行验证和误差测试;

(6) 利用满足精度的RBFN模型建立电路系统板热优化模型,获得最优的系统板参数。

2. 根据权利要求1所述的一种电子设备系统板热设计的优化方法,其特征在于:步骤(2),包括以下子步骤:

(2.1) 根据系统板设计要求确定参数的摄动幅度,将它们的值设置成上幅值,中值和下幅值: $P_d, P_m$ 和 $P_u$ ,分别用 $d, m, u$ 表示;

(2.2) 根据影响系统板热可靠性的参数,构造参数幅值表;

(2.3) 设计直交表的表头;

(2.4) 将热可靠性参数及幅度水平安排到所选的直交表相当的列中,形成直交组合设计。

3. 根据权利要求2所述的一种电子设备系统板热设计的优化方法,其特征在于:步骤(2.3),根据参数和摄动的幅度,选择直交表,选择的方法是:参数的个数小于直交表的列数,参数的幅度水平数等于直交表对应的水平数,选择较小的表 $L_a(b^c)$ ,其中, $L$ 表示直交表, $a$ 为总实验的次数, $b$ 为参数的水平数, $c$ 为参数的个数。

4. 根据权利要求3所述的一种电子设备系统板热设计的优化方法,其特征在于:步骤(3),包括以下子步骤:

(3.1) 根据系统板的结构和其他固定参数,建立系统板有限单元模型;

(3.2) 结合系统板各部件的材料属性,对系统板有限单元模型进行网格划分;

(3.3) 选择系统板上主要功率器件作为热载荷加载到有限单元的每个节点上,对直交组合设计表中每个点进行有限单元计算,求出系统板的最高结点温度,得到完备的直交组合设计表。

5. 根据权利要求1所述的一种电子设备系统板热设计的优化方法,其特征在于:系统板的最高结点温度与热可靠性参数之间关系的RBN模型建立方法:

(a) 采用Radial Basis (RB) 函数构造RBN模型的隐函数:

$$z_h = g_h \left( \frac{\sqrt{2}}{2} \beta_h \|T - C_h\| \right) = \exp \left[ -\frac{1}{2} \beta_h^2 (T - C_h)^T (T - C_h) \right]$$

式中, $\beta_h$ 为第 $h$ 个隐节点正规化参数, $P = (P_1, P_2, \dots, P_n)$ 表示系统板热可靠性参数, $n$ 为参数的个数; $C_h = (C_{h1}, C_{h2}, \dots, C_{hn})$ 为第 $h$ 个隐层RB的中心值;

对 $Z_h$ 进行0-1化处理:

$$u_h = z_h / \sum_{h=1}^H z_h \quad (h=0,1,2,\dots,H)$$

H为隐层RB的个数,  $Z_0 \equiv 1$ ;

(b) 设计RBN模型的判定函数, 采用误差平方和设计RBN模型的判定函数:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^m (T_k - \bar{T}_k)^2$$

式中,  $T$ 为系统板的最高结温的RBN网络输出值,  $\bar{T}$ 为系统板的最高结温的有限单元计算值,  $\bar{T} = (\bar{T}_1, \bar{T}_2, \dots, \bar{T}_m)$ ,  $m$ 为直交组合设计数;

(c) 拟定学习法则:

$$W(k+1) = W(k) + \eta(k) \left. \frac{\partial E(W)}{\partial W} \right|_{W=W(k)} + \alpha(k) [W(k) - W(k-1)]$$

$$C(k+1) = C(k) + \eta(k) \left. \frac{\partial E(W)}{\partial C} \right|_{C=C(k)} + \alpha(k) [C(k) - C(k-1)]$$

$$\beta(k+1) = \beta(k) + \eta(k) \left. \frac{\partial E(W)}{\partial \beta} \right|_{\beta=\beta(k)} + \alpha(k) [\beta(k) - \beta(k-1)]$$

其中,  $\eta(k)$ 为学习率,  $\alpha$ 为动量因子, 学习率取0.07, 动量因子取0.96;

(d) 基于网络训练, 得到 $W, C$ 和 $\beta$ 的值, 从而建立了系统板最高结温与热可靠性参数之间的非线性关系:

$$T = \sum_{h=0}^H w_h u_h = W^T U$$

## 一种电子设备系统板热设计的优化方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电子设备技术领域,具体涉及一种电子设备系统板热设计的优化方法。

### 背景技术

[0002] 系统板(也称主板)是电子设备如工控电子系统, GPS导航系统、在线监控系统、仪器仪表系统,专业的控制系统,军工电子设备等的最重要的部件,它不仅为电子设备中不同功能的器件实现机械和电气的连接,还为整个电子设备实现接收、处理和传输信息和数据的功能。计算机是典型的复杂电子系统,系统板是计算机的核心部件。电子设备系统板的生产和制造是我国的主导产业之一,2013年,我国电子设备系统板制造行业规模以上企业数量达到了147家,实现了销售收入和利润总额11944.804亿元,257.09亿元,在行业中占比分别是56.16%和41.36%。

[0003] 然而,我国制造的系统板国际市场竞争力还比较薄弱,关键原因是产品的可靠性不高。影响系统板可靠性的原因有很多,包括:内部元器件自身的原材料发生变异、元器件本身设计不良以及所运行的环境温度和湿度的影响等等。通过调查和用户反馈的信息,电子设备系统板主要失效形式之一是热失效,它在使用时内部的功率器件会产生大量的热量,长期的温度交变产生的热应力会引起元器件发生热疲劳失效,通过大量的数据分析,系统板内的电子器件环境温度每升高10℃时,其失效率增加一个数量级。根据相关文献记载,电子设备系统板元器件的失效率有55%左右是温度超过规定的值引起的。

[0004] 电子设备系统板的热优化设计是解决电子系统因过热失效的根本途径,现已引起国内外学者和研究部门的高度重视,其中国外的研究工作超前于国内。目前国外开展系统板热可靠性研究的科研院所主要有:马里兰大学的CACLE电子研究中心、新加坡国立大学、悉尼大学和美国、欧盟、日本、新加坡等一些电子工业高度发达国家的许多电子研究所等。

[0005] 国外早在上世纪八十年代中期开始进行电子设备系统板的热分析、热设计方面的工作,到上世纪90年代,日本的Toshiba公司对电子设备系统板进行了热评估和质量控制并发表了学术论文。近几年,国外对电子设备系统板上元件热可靠性也有一定的研究,C. Casavola, L. Lamberti等采用相移散射干涉装置研究系统板电子器件热形变的时变特性,并应用在航空电子设备中;S. Russo, A. Testa等基于Coffin-Manson理论和热应力测量的方法建立了电子器件的可靠性评估模型;H. W. Sik, K. A. Young等在-40~+85℃循环温度1500个热循环下以及在-40~+125℃循环温度3000个热循环下从物理热失效模式上研究了汽车电子系统板器件的退化行为和剪切强度和裂纹长度的交互特性;Michael Pecht教授采用马尔可夫理论建立了高密度系统板热可靠性分析和预测模型;F. Baccara, H. Arbessa等提出用边界积分的方法预测系统板上各元件的温度,这种方法适用与各向同性和各向异性的问题,其优点是简单、易行,对于大量的实际问题都能适用。爱尔兰州立大学机械工程学院就对流的情况下,系统板的布局对元件运行温度的影响进行试验和数据分析研究。

[0006] 我国在电子设备系统板热设计方面的研究起步较晚,起初都是借鉴国外的经验,军方则对系统板的热设计给予了高度重视,1992年7月颁布了国军标GJB/Z27-92《电子设备可靠性热设计手册》,是进行热设计的基本依据;1993年9月颁布了国军标GJB/Z35-93《元器件降额准则》,规定了各种元器件在不同应用情况下应降额的参数及其量值,同时提供了若干与热设计和降额设计有关的应用指南。

[0007] 国内整个电子设备生产和制造工业正处于发展阶段,电子设备硬件系统的热设计、热分析、热测试技术的研究较少,尚处于起步阶段。在国内行业中,电子设备研制单位存在着仅凭经验作一些初步的热设计和采取一定控制措施的误区,没有进行科学合理的热分析、热设计与热试验工作,热设计、热控制措施缺乏科学性和合理性,因而其可靠性与国外同类产品相比有一定的差距。

[0008] 总之,目前,不管是国内还是国外,电子设备系统板的热分析和设计建模大部分都是采用静态的、单一的和确定性的模型,没有进行动态的热优化设计,因而不能从根本上满足电子设备系统板热可靠性设计的要求。

## 发明内容

[0009] 针对现有技术存在的不足,本发明的目的在于提供一种能够实现系统板的热优化设计,大大地提高系统板热可靠性的电子设备系统板热设计的优化方法。

[0010] 为实现上述目的,本发明提供了如下技术方案:一种电子设备系统板热设计的优化方法,包括以下步骤:

[0011] (1) 确定影响系统板热可靠性的参数,把系统板的最高结点温度作为优化目标;

[0012] (2) 根据确定的热可靠性的参数和优化目标,进行直交组合设计;

[0013] (3) 对直交组合设计点分别进行温度场的有限单元分析和计算,得到每一组直交组合设计点对应的系统板最高结点温度,形成完备的直交组合设计;

[0014] (4) 设计径向基网络RBN的判定函数和学习法则,运用完备的直交组合设计和对应的系统板最高结点温度对径向基网络RBN进行训练,基于判定函数和学习法则构建系统板最高结点温度的RBN模型;

[0015] (5) 对系统板的最高结点温度RBN模型进行验证和误差测试;

[0016] (6) 利用满足精度的RBFN模型建立电路系统板热优化模型,获得最优的系统板参数。

[0017] 作为优选的,步骤(2),包括以下子步骤:

[0018] (2.1) 根据系统板设计要求确定参数的摄动幅度,将它们的值设置成上幅值,中值和下幅值: $P_d, P_m$ 和 $P_u$ ,分别用 $d, m, u$ 表示;

[0019] (2.2) 根据影响系统板热可靠性的参数,构造参数幅值表;

[0020] (2.3) 设计直交表的表头;

[0021] (2.4) 将热可靠性参数及幅度水平安排到所选的直交表相当的列中,形成直交组合设计。

[0022] 作为优选的,步骤(2.3),根据参数和摄动的幅度,选择直交表,选择的方法是:参数的个数小于直交表的列数,参数的幅度水平数等于直交表对应的水平数,选择较小的表 $L_a(b^c)$ ,其中, $L$ 表示直交表, $a$ 为总实验的次数,即直交表的行数, $b$ 为参数的水平数, $c$ 为参

数的个数,即直交表的列数。

[0023] 作为优选的,步骤(3),包括以下子步骤:

[0024] (3.1) 根据系统板的结构和其他固定参数,建立系统板有限单元模型;

[0025] (3.2) 结合系统板各部件的材料属性,对系统板有限单元模型进行网格划分;

[0026] (3.3) 选择系统板上主要功率器件作为热载荷加载到有限单元的每个节点上,对直交组合设计表中每个点进行有限单元计算,求出系统板的最高结点温度,得到完备的直交组合设计表。

[0027] 作为优选的,系统板的最高结点温度与热可靠性参数之间关系的RBN模型建立方法:

[0028] (a) 采用Radial Basis (RB) 函数构造RBN模型的隐函数:

$$[0029] \quad z_h = g_h \left( \frac{\sqrt{2}}{2} \beta_h \|T - C_h\| \right) =$$

$$[0030] \quad \exp \left[ -\frac{1}{2} \beta_h^2 (T - C_h)^T (T - C_h) \right]$$

[0031] 式中, $\beta_h$ 为第h个隐节点正规化参数, $P = (P_1, P_2, \dots, P_n)$ 表示系统板热可靠性参数, $n$ 为参数的个数; $C_h = (C_{h1}, C_{h2}, \dots, C_{hn})$ 为第h个隐层RB的中心值;

[0032] 对 $Z_h$ 进行0-1化处理:

$$[0033] \quad u_h = z_h / \sum_{h=1}^H z_h \quad (h = 0, 1, 2, \dots, H)$$

[0034]  $H$ 为隐层RB的个数, $Z_0 \equiv 1$ ;

[0035] (b) 设计RBN模型的判定函数,采用误差平方和设计RBN模型的判定函数:

$$[0036] \quad E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^m (T_k - \bar{T}_k)^2$$

[0037] 式中, $T$ 为系统板的最高结温的RBN网络输出值, $\bar{T}$ 为系统板的最高结温的有限单元计算值, $\bar{T} = (\bar{T}_1, \bar{T}_2, \dots, \bar{T}_m)$ , $m$ 为直交组合设计数;

[0038] (c) 拟定学习法则:

$$[0039] \quad W(k+1) = W(k) + \eta(k) \left. \frac{\partial E(W)}{\partial W} \right|_{W=W(k)} + \alpha(k) [W(k) - W(k-1)]$$

$$[0040] \quad C(k+1) = C(k) + \eta(k) \left. \frac{\partial E(W)}{\partial C} \right|_{C=C(k)} + \alpha(k) [C(k) - C(k-1)]$$

$$[0041] \quad \beta(k+1) = \beta(k) + \eta(k) \left. \frac{\partial E(W)}{\partial \beta} \right|_{\beta=\beta(k)} + \alpha(k) [\beta(k) - \beta(k-1)]$$

[0042] 其中, $\eta(k)$ 为学习率, $\alpha$ 为动量因子,学习率取0.07,动量因子取0.96;

[0043] (d) 基于网络训练,得到 $W, C$ 和 $\beta$ 的值,从而建立了系统板最高结温与热可靠性参数之间的非线性关系:

$$[0044] \quad T = \sum_{h=0}^H w_h u_h = W^T U$$

[0045] 本发明的优点是：与现有技术相比，本发明基于RBN网络、直交组合设计、数值分析和非线性优化相融合的系统板热设计优化的新方法，把系统板的最高结点温度作为目标对温度循环作用下的电路板进行优化设计，在设计范围内获得最优的系统板设计参数，使系统板内部最大的结温减到最小，大大提高系统板的使用寿命。此发明解决了电路板热设计领域内的关键技术。

[0046] 下面结合说明书附图和具体实施例对本发明作进一步说明。

## 附图说明

- [0047] 图1为本发明实施例热优化方法的流程图；  
 [0048] 图2为本发明实施例的三参数直交实验设计原理图；  
 [0049] 图3为本发明实施例RBN网络输入输出模型；  
 [0050] 图4为本发明实施例系统板走线分布图；  
 [0051] 图5为本发明实施例系统板有限单元分层建模图；  
 [0052] 图6为本发明实施例系统板模型网格划分图；  
 [0053] 图7为本发明实施例有限单元计算的系统板温度曲线图；  
 [0054] 图8为本发明实施例热优化前的系统板温度场分布图；  
 [0055] 图9为本发明实施例热优化后的系统板温度场分布图。

## 具体实施方式

[0056] 参见图1至图9，本发明公开的一种电子设备系统板热设计的优化方法，包括以下步骤：

- [0057] (1) 确定影响系统板热可靠性的参数，把系统板的最高结点温度作为优化目标；  
 [0058] (2) 根据确定的热可靠性的参数和优化目标，进行直交组合设计；  
 [0059] (3) 对直交组合设计点分别进行温度场的有限单元分析和计算，得到每一组直交组合设计点对应的系统板最高结点温度，形成完备的直交组合设计；  
 [0060] (4) 设计径向基网络RBN的判定函数和学习法则，运用完备的直交组合设计和对应的系统板最高结点温度对径向基网络RBN进行训练，基于判定函数和学习法则构建系统板最高结点温度的RBN模型；  
 [0061] (5) 对系统板的最高结点温度RBN模型进行验证和误差测试；  
 [0062] (6) 利用满足精度的RBFN模型建立电路系统板热优化模型，获得最优的系统板参数。  
 [0063] 作为优选的，步骤(2)，包括以下子步骤：  
 [0064] (2.1) 根据系统板设计要求确定参数的摄动幅度，将它们的值设置成上幅值，中值和下幅值： $P_d, P_m$ 和 $P_u$ ，分别用 $d, m, u$ 表示；  
 [0065] (2.2) 根据影响系统板热可靠性的参数，构造参数幅值表；构造的表如表1所示。

	摄动幅度	影响系统板热可靠性的参数				
		$P_1$	$P_2$	$P_3$	...	$P_n$
[0066]	d	$P_{1d}$	$P_{2d}$	$P_{3d}$	...	$P_{1d}$
	m	$P_{1m}$	$P_{2m}$	$P_{3m}$	...	$P_{nm}$
	u	$P_{1u}$	$P_{2u}$	$P_{3u}$	...	$P_{nu}$

[0067] 表1

[0068] (2.3) 设计直交表的表头;

[0069] (2.4) 将热可靠性参数及幅度水平安排到所选的直交表相当的列中,形成直交组合设计。组合表如表2所示。

[0070]

参数		$P_1$	$P_2$	...	$P_n$	直交设计组合
直交设计数	1	幅度水平	幅度水平	幅度水平	幅度水平	
	2	幅度水平	幅度水平	幅度水平	幅度水平	
	3	幅度水平	幅度水平	幅度水平	幅度水平	
	...	幅度水平	幅度水平	幅度水平	幅度水平	
	m	幅度水平	幅度水平	幅度水平	幅度水平	

[0071] 表2

[0072] 作为优选的,步骤(2.3),根据参数和摄动的幅度,选择直交表,选择的方法是:参数的个数小于直交表的列数,参数的幅度水平数等于直交表对应的水平数,选择较小的表 $L_a(b^c)$ ,其中,L表示直交表,a为总实验的次数,即直交表的行数,b为参数的水平数,c为参数的个数,即直交表的列数。

[0073] 作为优选的,步骤(3),包括以下子步骤:

[0074] (3.1) 根据系统板的结构和其他固定参数,建立系统板有限单元模型;

[0075] (3.2) 结合系统板各部件的材料属性,对系统板有限单元模型进行网格划分;

[0076] 网格划分应根据以下准则进行:网格长宽比越接近越好;避免大尺寸网格到小尺寸网格直接过度。为了兼顾求解时间,应使用局域化网格,在热流密度较小的区域使用粗略的外部网格,而在热流密度较大的区域使用精细的局域化网格。

[0077] (3.3) 选择系统板上主要功率器件作为热载荷加载到有限单元的每个节点上,对直交组合设计表中每个点进行有限单元计算,求出系统板的最高结点温度,得到完备的直交组合设计表。

[0078] 作为优选的,系统板的最高结点温度与热可靠性参数之间关系的RBN模型建立方法:

[0079] (a) 采用Radial Basis (RB) 函数构造RBN模型的隐函数:



$$z_h = g_h\left(\frac{\sqrt{2}}{2} \beta_h \|(T - C_h)\|\right) =$$

[0080]

$$\exp\left[-\frac{1}{2} \beta_h^2 (T - C_h)^T (T - C_h)\right]$$

[0081] 式中,  $\beta_h$  为第  $h$  个隐节点正规化参数,  $P = (P_1, P_2, \dots, P_n)$  表示系统板热可靠性参数,  $n$  为参数的个数;  $C_h = (C_{h1}, C_{h2}, \dots, C_{hn})$  为第  $h$  个隐层 RB 的中心值;

[0082] 对  $Z_h$  进行 0-1 化处理:

$$[0083] \quad u_h = z_h / \sum_{h=1}^H z_h \quad (h=0,1,2,\dots,H)$$

[0084]  $H$  为隐层 RB 的个数,  $Z_0 = 1$ ;

[0085] (b) 设计 RBN 模型的判定函数, 采用误差平方和设计 RBN 模型的判定函数:

$$[0086] \quad E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^m (T_k - \bar{T}_k)^2$$

[0087] 式中,  $T$  为系统板的最高结温的 RBN 网络输出值,  $\bar{T}$  为系统板的最高结温的有限单元计算值,  $\bar{T} = (\bar{T}_1, \bar{T}_2, \dots, \bar{T}_m)$ ,  $m$  为直交组合设计数;

[0088] (c) 拟定学习法则:

$$[0089] \quad W(k+1) = W(k) + \eta(k) \left. \frac{\partial E(W)}{\partial W} \right|_{W=W(k)} + \alpha(k)[W(k) - W(k-1)]$$

$$[0090] \quad C(k+1) = C(k) + \eta(k) \left. \frac{\partial E(W)}{\partial C} \right|_{C=C(k)} + \alpha(k)[C(k) - C(k-1)]$$

$$[0091] \quad \beta(k+1) = \beta(k) + \eta(k) \left. \frac{\partial E(W)}{\partial \beta} \right|_{\beta=\beta(k)} + \alpha(k)[\beta(k) - \beta(k-1)]$$

[0092] 其中,  $\eta(k)$  为学习率,  $\alpha$  为动量因子, 学习率取 0.07, 动量因子取 0.96;

[0093] (d) 基于网络训练, 得到  $W$ ,  $C$  和  $\beta$  的值, 从而建立了系统板最高结温与热可靠性参数之间的非线性关系:

$$[0094] \quad T = \sum_{h=0}^H w_h u_h = W^T U$$

[0095] 下面以三星电子 S5PV210 系统板详细说明, 系统板热设计的优化方法包括以下步骤:

[0096] (1) S5PV210 系统板主要包括 Cortex A8 架构的 CPU, 4 颗 DDR2 SDRAM 芯片, 2 颗 NAND FLASH 芯片, 1 颗电源管理芯片, 1 颗音频处理芯片, 1 颗 WIFI 模块芯片, 1 颗千兆以太网芯片等器件。

[0097] 影响 S5PV210 系统板热特性的主要参数有: 内层铜皮的厚度  $P_1$ 、热过孔的直径  $P_2$ 、封装材料的导热率  $P_3$ 、主板厚度  $P_4$  和器件焊接点的直径  $P_5$ , 选择内层铜皮的厚度、热过孔的直径、封装材料的导热率、主板厚度和器件焊接点的直径作为优化参数, 把系统板的最高结点温度作为优化目标;

[0098] (2) 根据确定的热可靠性的参数和优化目标,进行直交组合设计,包括如下子步骤:

[0099] (2.1) 根据系统板设计要求确定参数的摄动幅度,将它们的值设置成上幅值,中值和下幅值: $P_d, P_m$ 和 $P_u$ ,分别用 $d, m, u$ 表示。

[0100]  $P_{1d}=0.50Z, P_{1m}=1.50Z, P_{1u}=2.50Z$ ;

[0101]  $P_{2d}=0.5mm, P_{2m}=1.0mm, P_{2u}=1.5mm$ ;

[0102]  $P_{3d}=25.0W/(Mk), P_{3m}=80.0W/(Mk), P_{3u}=135.0W/(Mk)$ ;

[0103]  $P_{4d}=0.264mm, P_{4m}=0.304mm, P_{4u}=0.344mm$ ;

[0104]  $P_{5d}=0.35mm, P_{5m}=0.40mm, P_{5u}=0.45mm$ 。

[0105] (2.2) 根据影响系统板热可靠性的参数,构造参数幅值表,构造的表如表3所示。

摄动幅度	影响系统板热可靠性的参数				
	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$
d	$P_{1d}$	$P_{2d}$	$P_{3d}$	$P_{4d}$	$P_{5d}$
m	$P_{1m}$	$P_{2m}$	$P_{3m}$	$P_{4m}$	$P_{5m}$
u	$P_{1u}$	$P_{2u}$	$P_{3u}$	$P_{4u}$	$P_{5u}$

[0107] 表3

[0108] (2.3) 设计直交表的表头。

[0109] 根据参数和和摄动的幅度,和直交表选择的方法,实施例选择表L12( $3^5$ )。

[0110] (2.4) 将热可靠性参数及幅度水平安排到所选的直交表相当的列中,形成直交组合设计,组合表如表4所示。

[0111]

参数	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	直交设计组合
直交设计数	1	d	d	d	d	$P_{1d} P_{2d} P_{3d} P_{4d} P_{5d}$
	2	d	d	d	m	$P_{1d} P_{2d} P_{3d} P_{4m} P_{5m}$
	3	d	m	m	d	$P_{1d} P_{2m} P_{3m} P_{4d} P_{5m}$
	4	d	m	m	m	$P_{1d} P_{2m} P_{3m} P_{4m} P_{5d}$
	5	m	d	m	d	$P_{1m} P_{2d} P_{3m} P_{4d} P_{5d}$
	6	m	d	m	m	$P_{1m} P_{2d} P_{3m} P_{4m} P_{5m}$
	7	m	m	d	m	$P_{1m} P_{2m} P_{3d} P_{4m} P_{5m}$

[0112]

8	m	m	d	m	m	$P_{1m} P_{2m} P_{3d} P_{4m} P_{5m}$
9	m	d	m	d	m	$P_{1m} P_{2d} P_{3m} P_{4d} P_{5m}$
10	m	d	d	m	d	$P_{1m} P_{2d} P_{3d} P_{4m} P_{5d}$
11	u	m	d	d	m	$P_{1u} P_{2m} P_{3d} P_{4d} P_{5m}$
12	u	m	m	m	d	$P_{1u} P_{2m} P_{3m} P_{4m} P_{5d}$

[0113] 表4

[0114] (3) 对直交组合设计点分别进行温度场的有限单元分析和计算,得到每一组直交组合设计点对应的系统板最高结点温度,形成完备的直交组合设计,它包括以下子步骤:

[0115] (3.1) 根据系统板的结构和其他固定参数,建立系统板有限单元模型;

[0116] (3.2) 结合系统板各部件的材料属性,对系统板有限单元模型进行网格划分;

[0117] 网格划分应根据以下准则进行:网格长宽比越接近越好;避免大尺寸网格到小尺寸网格直接过度。为了兼顾求解时间,应使用局域化网格,在热流密度较小的区域使用粗略的外部网格,而在热流密度较大的区域使用精细的局域化网格。

[0118] (3.3) 选择系统板上主要功率器件作为热载荷加载到有限单元的每个节点上,对直交组合设计表中每个点进行有限单元计算,求出系统板的最高结点温度,得到完备的直交组合设计表。参见表5。

[0119]

参数	P1	P2	P3	P4	P5	直交设计组合	最高结点温度
1	0.5	0.5	25.0	0.264	0.35	$P_{1d} P_{2d} P_{3d} P_{4d} P_{5d}$	50.87 (°C)
2	0.5	0.5	25.0	0.304	0.40	$P_{1d} P_{2d} P_{3d} P_{4m} P_{5m}$	71.34 (°C)
3	0.5	1.0	80.0	0.264	0.40	$P_{1d} P_{2m} P_{3m} P_{4d} P_{5m}$	63.12 (°C)
4	0.5	1.0	80.0	0.304	0.35	$P_{1d} P_{2m} P_{3m} P_{4m} P_{5d}$	78.25 (°C)
5	1.5	0.5	80.0	0.264	0.35	$P_{1m} P_{2d} P_{3m} P_{4d} P_{5d}$	70.69 (°C)
6	1.5	0.5	80.0	0.304	0.40	$P_{1m} P_{2d} P_{3m} P_{4m} P_{5m}$	53.64 (°C)
7	1.5	1.0	25.0	0.304	0.40	$P_{1m} P_{2m} P_{3d} P_{4m} P_{5m}$	56.21 (°C)

[0120]

8	1.5	1.0	25.0	0.304	0.40	$P_{1m} P_{2m} P_{3d} P_{4m} P_{5m}$	72.30 (°C)
9	1.5	0.5	80.0	0.264	0.40	$P_{1m} P_{2d} P_{3m} P_{4d} P_{5m}$	69.36 (°C)
10	1.5	0.5	25.0	0.304	0.35	$P_{1m} P_{2d} P_{3d} P_{4m} P_{5d}$	60.25 (°C)
11	2.5	1.0	25.0	0.264	0.40	$P_{1u} P_{2m} P_{3d} P_{4d} P_{5m}$	55.19 (°C)
12	2.5	1.0	80.0	0.304	0.35	$P_{1u} P_{2m} P_{3m} P_{4m} P_{5d}$	65.37 (°C)

[0121] 表5

[0122] (4) 设计径向基网络RBN的判定函数和学习法则,运用完备的直交组合设计和对应的系统板最高结点温度对RBN进行训练,基于判定函数和学习法则构建系统板的最高结点温度的RBN模型,构建的方法如下:

[0123] (a) 采用Radial Basis (RB) 函数构造RBN模型的隐函数:

$$z_h = g_h \left( \frac{\sqrt{2}}{2} \beta_h \|T - C_h\| \right) =$$

[0124]

$$\exp \left[ -\frac{1}{2} \beta_h^2 (T - C_h)^T (T - C_h) \right]$$

[0125] 式中,  $\beta_h$  为第h个隐节点正规化参数,  $P = (P_1, P_2, \dots, P_n)$  表示系统板热可靠性参数, n为参数的个数。  $C_h = (C_{h1}, C_{h2}, \dots, C_{hn})$  为第h个隐层RB的中心值。

[0126] 对  $Z_h$  进行0-1化处理:

$$[0127] \quad u_h = z_h / \sum_{h=1}^H z_h \quad (h=0,1,2, \dots, H)$$

[0128] H为隐层RB的个数,  $Z_0 \equiv 1$ 。

[0129] (b) 设计RBN模型的判定函数,本发明采用误差的平方和设计RBN模型的判定函数:

$$[0130] \quad E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^m (T_k - \bar{T}_k)^2$$

[0131] 式中, T为系统板的最高结温的RBN网络输出值,  $\bar{T}$  为系统板的最高结温的有限单元计算值,  $\bar{T} = (\bar{T}_1, \bar{T}_2, \dots, \bar{T}_m)$ , m为直交组合设计数。

[0132] (c) 拟定学习法则:

$$[0133] \quad W(k+1) = W(k) + \eta(k) \left. \frac{\partial E(W)}{\partial W} \right|_{W=W(k)} + \alpha(k) [W(k) - W(k-1)]$$

$$[0134] \quad C(k+1) = C(k) + \eta(k) \left. \frac{\partial E(W)}{\partial C} \right|_{C=C(k)} + \alpha(k) [C(k) - C(k-1)]$$

$$[0135] \quad \beta(k+1) = \beta(k) + \eta(k) \left. \frac{\partial E(W)}{\partial \beta} \right|_{\beta=\beta(k)} + \alpha(k) [\beta(k) - \beta(k-1)]$$

[0136] 其中,  $\eta(k)$  为学习率,  $\alpha$  为动量因子,本发明学习率取0.07,动量因子取0.96。

[0137] (d) 基于网络训练,得到W,C和β的值,从而建立了系统板的最高结温与热可靠性参数之间的非线性关系。

$$[0138] \quad T = \sum_{h=0}^H w_h u_h = W^T U$$

[0139] (5) 对系统板最高结点温度的RBN模型进行验证和误差测试;

[0140] 本发明采用复相关系数 $R^2$ 和校正的复相关系数 $AdjR^2$ 来验证模型的精度:

$$[0141] \quad R^2 = 1 - \frac{\sum_{j=1}^m (T_j - \hat{T}_j)^2}{\sum_{j=1}^m (\bar{T}_j - T_j)^2}$$

$$[0142] \quad R^2_{adj} = 1 - \frac{\sum_{j=1}^m (T_j - \hat{T}_j)^2 (m-1)}{\sum_{j=1}^m (\bar{T}_j - T_j)^2 (m-k-1)}$$

[0143] 式中, $\hat{T}$ 为有限单元计算的最高结点温度的平均值,k自由度。

[0144] 本实施例得出的结果是:

[0145]

R的类型	$R^2$	$AdjR^2$
R的值	0.9637	0.9589

[0146] 表6

[0147] 从表6中看出,复相关系数 $R^2$ 和调整的复相关系数 $AdjR^2$ 都接近1,说明模型的精度是高的,可以用来对系统板进行热优化。

[0148] (6) 利用满足精度的RBFN模型建立电路系统板热优化模型,获得最优的系统板参数。

[0149] 建立的优化模型如下:

[0150] Satisfy:  $P_{i1} \leq P_i \leq P_{ih}$

$$[0151] \quad \text{Min } T(P) = \sum_{h=0}^H w_h u_h = W^T U$$

[0152] 式中, $P_i$  ( $i=1,2,3,4,5$ ) 是系统板优化参数,本实施例分别表示内层铜皮的厚度 $P_1$ 、热过孔的数量 $P_2$ 、封装材料的导热率 $P_3$ 、主板厚度 $P_4$ 和器件焊接点的直径 $P_5$ , $P_{i1}$ 和 $P_{ih}$ 表示设计参数的下幅值和上幅值。

[0153] 本实施例,通过求解得到系统板优化参数及系统板的最高结点温度,结果见表7:

[0154]

参数	内层铜皮厚度	热过孔直径	材料导热率	主板厚度	焊接点直径	最高结点温度
没有优化	1.5	1.0	80.0	0.304	0.40	70.4765
已经优化	2.215	18.12	135.624	0.286	0.463	49.3653

[0155] 表7

[0156] 从表7可看出,优化后系统板的最高结点温度由70.4765降为49.3653,降低了30%,与有限单元分析的结果是一致的。

[0157] 可见,本发明能够实现系统板的热优化设计,大大地提高了系统板的热可靠性。

[0158] 本发明基于RBN网络、直交组合设计、数值分析和非线性优化相融合的系统板热设计优化的新方法,把系统板的最高结点温度作为目标对温度循环作用下的电路板进行优化设计,在设计范围内获得最优的系统板设计参数,使系统板内部最大的结温减到最小,大大提高系统板的使用寿命。此发明解决了电路板热设计领域内的关键技术。

[0159] 上述实施例对本发明的具体描述,只用于对本发明进行进一步说明,不能理解为对本发明保护范围的限定,本领域的技术工程师根据上述发明的内容对本发明作出一些非本质的改进和调整均落入本发明的保护范围之内。

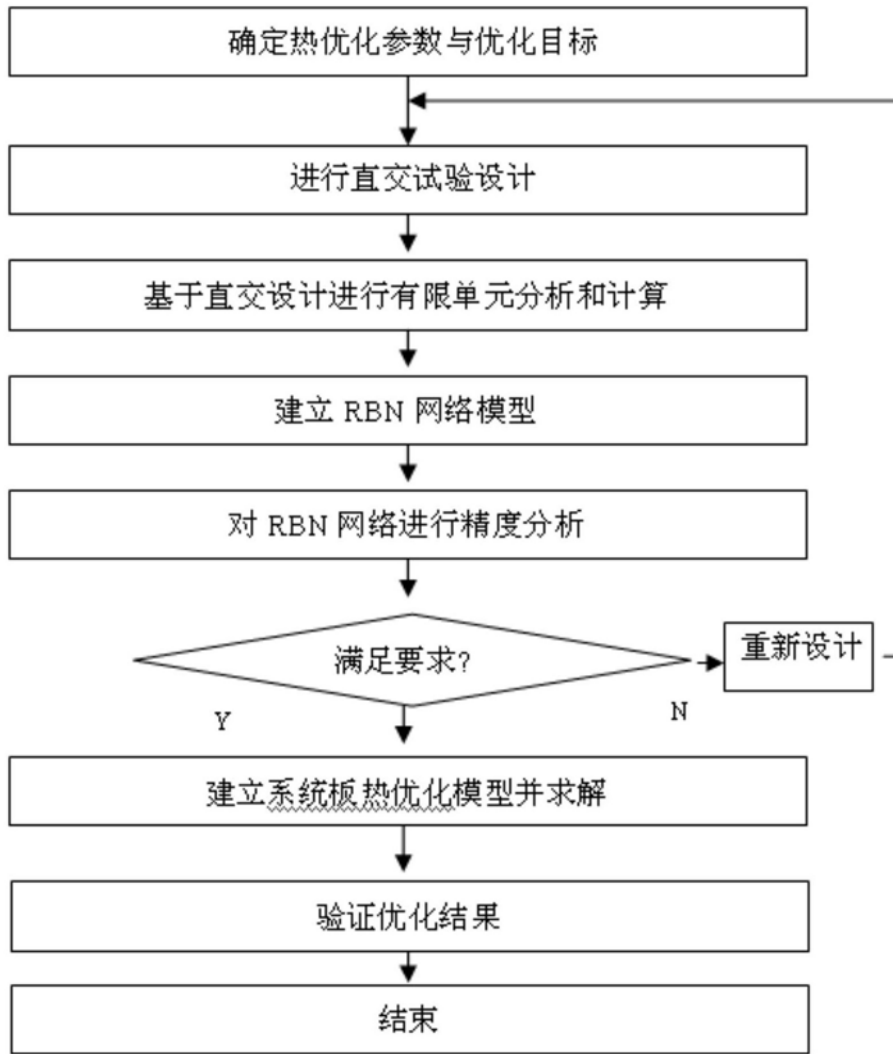


图1

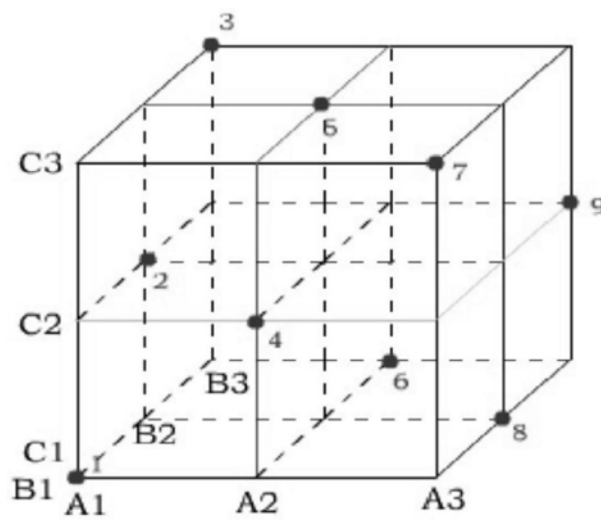


图2

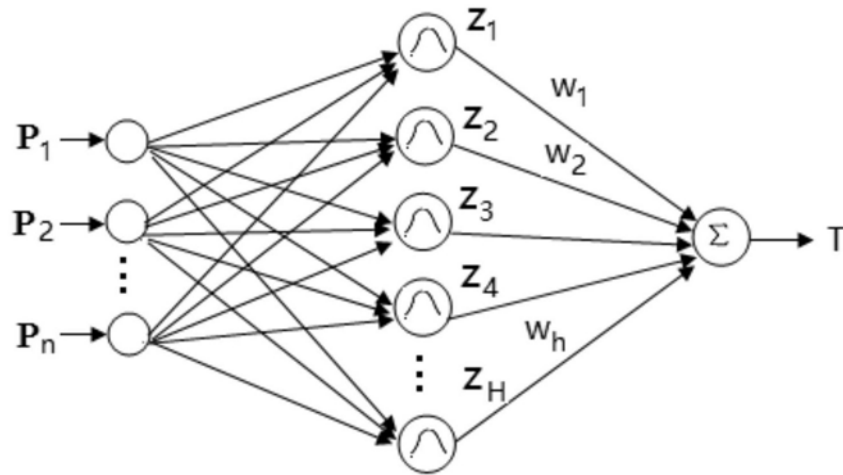


图3

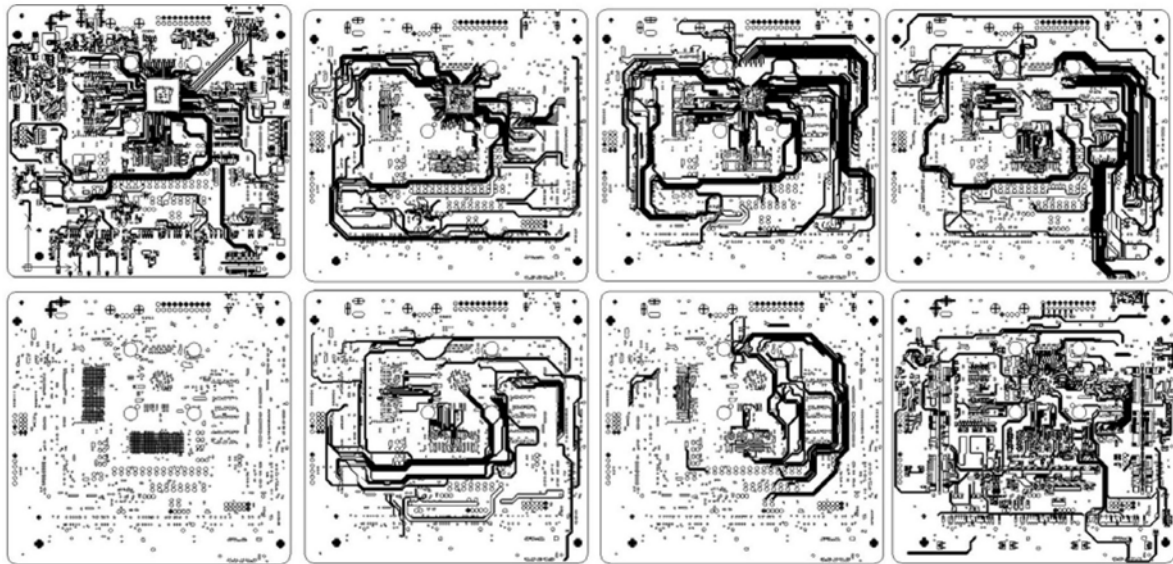


图4



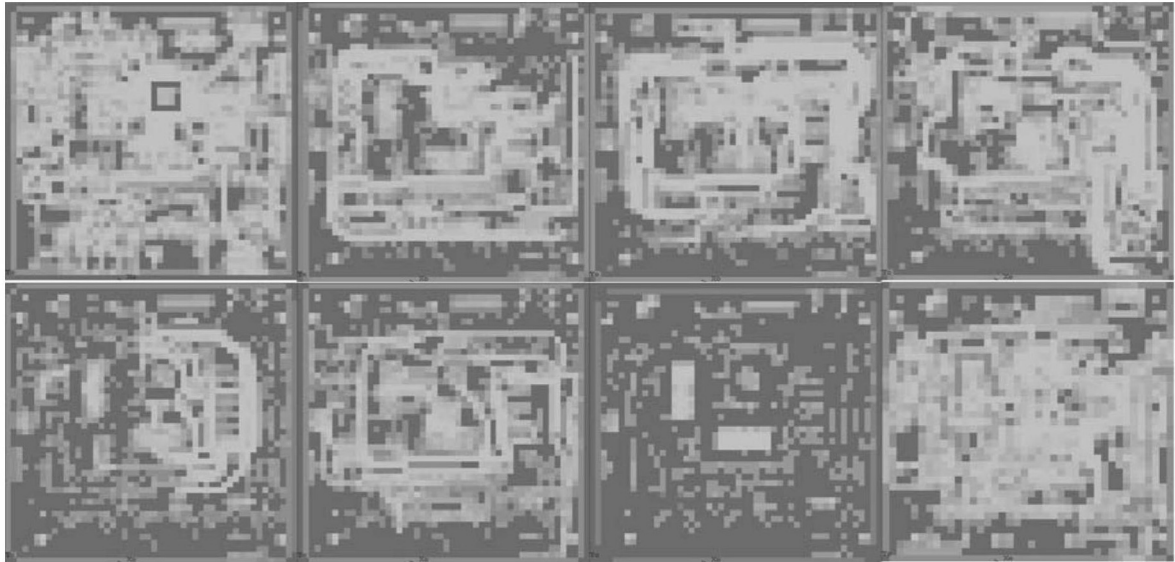


图5

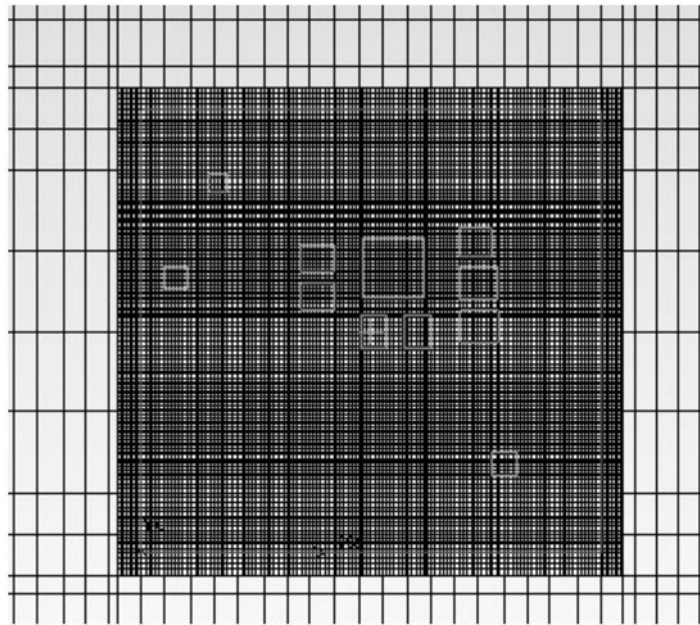


图6

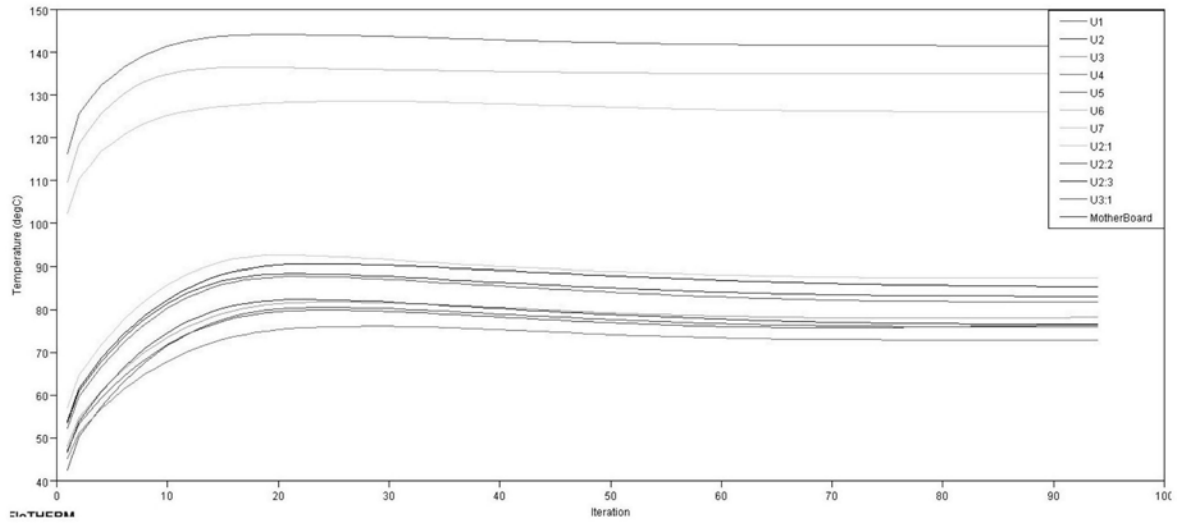


图7

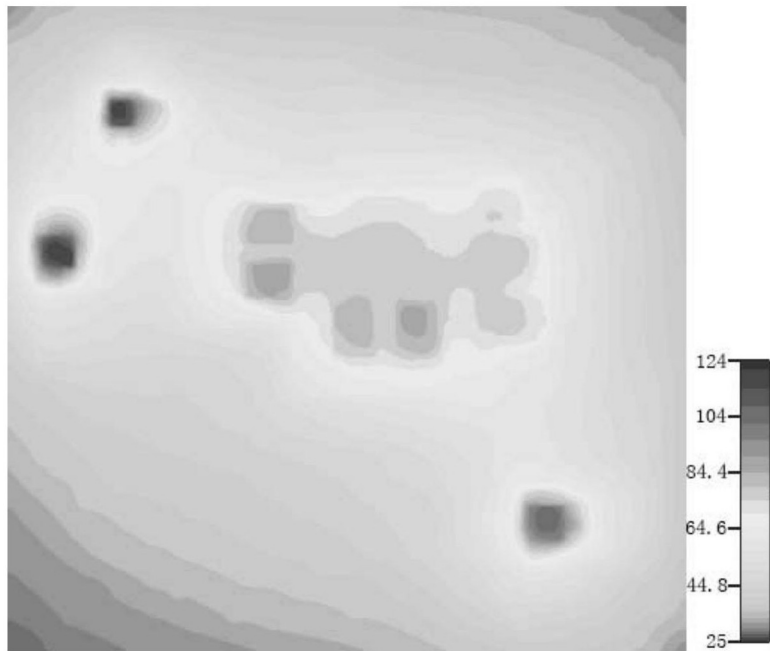


图8

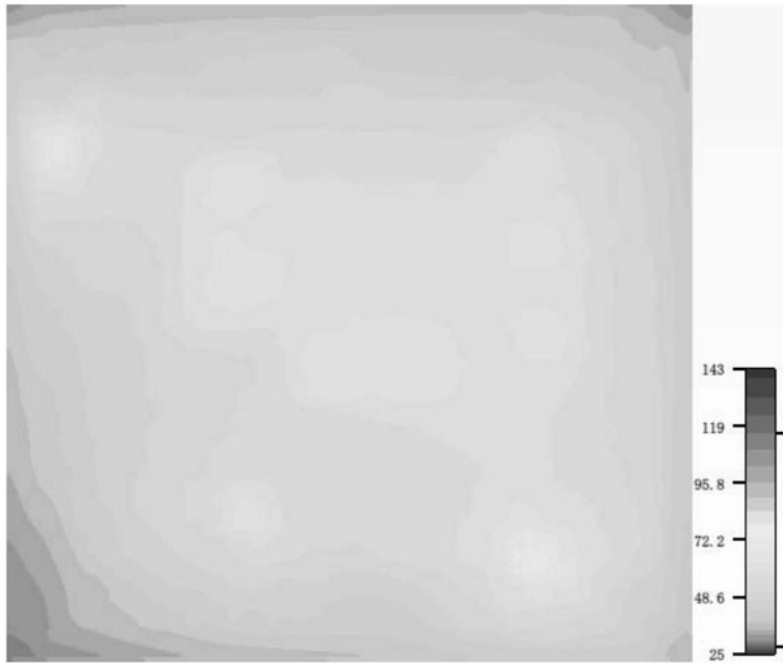


图9