



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108846167 B

(45)授权公告日 2020.05.26

(21)申请号 201810509149.0

(22)申请日 2018.05.24

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108846167 A

(43)申请公布日 2018.11.20

(73)专利权人 西安交通大学
地址 710049 陕西省西安市碑林区咸宁西路28号

(72)发明人 李宝童 王亚楠 宣承斌 陈豪 洪军

(74)专利代理机构 西安智大知识产权代理事务所 61215
代理人 贺建斌

(51)Int.Cl.
G06F 30/23(2020.01)
G06F 30/39(2020.01)

(56)对比文件

CN 105335742 A,2016.02.17,
CN 105207467 A,2015.12.30,
CN 107301290 A,2017.10.27,
CN 202310276 U,2012.07.04,
US 2014214370 A1,2014.07.31,
US 2011270587 A1,2011.11.03,
N. P. van Dijk etc..“Explicit level-set-based topology optimization using an exactHeaviside function and consistent sensitivity analysis”.《INTERNATIONAL JOURNAL FOR NUMERICAL METHODS IN ENGINEERING》.2012,
郭旭等.“基于拓扑描述函数的连续体结构拓扑优化方法”.《力学学报》.2004,第36卷(第5期),第520-526页.

审查员 胡瑞娟

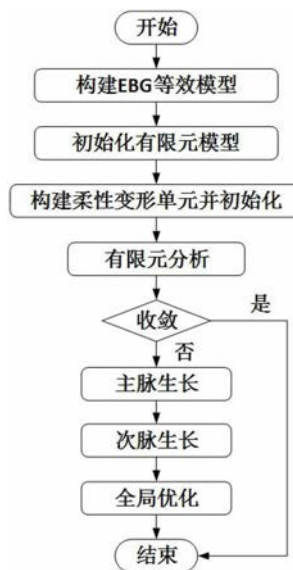
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

机载计算机板级低直流阻抗共面电磁带隙电源层设计方法

(57)摘要

一种机载计算机板级低直流阻抗共面电磁带隙电源层设计方法,先进行等效模型的构建,然后进行基结构有限元模型的初始化,再进行柔性生长单元的构建,然后进行有限元分析,再进行自适应生长,生长竞争与构型重构在MMA算法更新下不停迭代,直到材料用量达到初始化时设定的最大值 β_0 ,本发明能在设计阶段通过有限元的方法获得电源层的性能参数,提高了设计的可靠性,相较于传统设计具有更高的设计效率,能够获得更优的设计结果,同时降低了设计成本。



1. 一种机载计算机板级低直流阻抗共面电磁带隙电源层设计方法,其特征在于,包括以下步骤:

1) 等效模型的构建:将选定的电磁带隙单元等效为具有电导率 σ_0 的金属贴片,并将此金属贴片的材料作为模型中低电导率基底的材料,具有高电导率 σ_p 的铜质电源分配通道在基底材料上部生长形成;同时做出电流在等效金属贴片整个表面上均匀下渗的有效假设;

2) 基结构有限元模型的初始化:根据所需设计的电源板尺寸,以等效金属贴片的材料参数建立设计域即基结构的有限元模型,根据电源板的实际电压与电流输入情况,对基结构施加电压、电流的载荷边界条件;

电源板设计域是 $45\text{mm} \times 60\text{mm}$ 的矩形,设计域四周绝缘,其中一条长边中点为电流输入点,此处电压为 1V ,输入电流为 1A ,设计域中均匀渗电;采用 $1\text{mm} \times 1\text{mm}$ 大小的二维壳单元对基结构进行建模;

3) 柔性生长单元的构建:电源分配网络的最终构型是由若干柔性生长单元组成,柔性生长单元通过取水平集函数的零水平集来显式表达;

水平集函数为

$$\phi(x, y) = \left(\frac{x'}{L}\right)^6 + \left(\frac{y'}{w(x')}\right)^6 - 1$$

其中

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - (x_i + L \cos\theta) \\ y - (y_i + L \sin\theta) \end{bmatrix}$$

$$w(x') = \frac{t_1 + t_2 - 2t_3}{2L^2} (x')^2 + \frac{t_2 - t_1}{2L} x' + t_3$$

(x_i, y_i) 是柔性生长单元A点的坐标, L 是单元半长, θ 是单元倾角, t_1, t_2 和 t_3 分别是柔性生长单元A,B,C三点的半宽,这7个表示柔性生长单元几何参数的变量能够定义一个柔性生长单元:

$$X_i = [x_i, y_i, L, t_1, t_2, t_3, \theta]^T$$

基结构上的任意一个坐标为 (x, y) 的节点对第 i 个柔性生长单元可求出一个对应的水平集函数的值 ϕ_i ,节点的最终水平集函数值取所得各值的最大值 $\phi^s(x, y) = \max(\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots, \phi_n)$, n 为柔性生长单元的个数;

4) 有限元分析:在获得水平集函数值后,基结构上每个四边形壳单元的电导率能够由其四个节点的电导率插值得到,则由有限元方法有:

$$K\phi = J$$

其中, K 是整个结构的电导率矩阵, ϕ 是电压, J 是电流载荷,至此得柔性生长单元的有限元模型;

5) 自适应生长方法:

5.1) 优化问题数学模型的建立:

目标函数:电压降 $\Delta\phi$ 最小,平均电压最大;

设计变量: $X_i = [X_1, X_1 \dots X_n]$;

约束条件: $K\varphi = J$

$$V \leq V_{\max}$$

其中, X_i 是第 i 个柔性生长单元的几何参数, V 是高电导率材料所用的材料总用量, V_{\max} 是允许的最大材料用量;

5.2) 自适应生长过程: 将生长过程分为主脉与次脉两个层级, 主脉生长完成后开始次脉的生长, 同时引入生长竞争与局部重构两种生长策略;

5.2.1) 电源分配网络参数初始化: 在设计域后, 设定电源分配网络的最大材料用量 β_0 及生长过程中每一步的材料用量上限 $\beta^{(k)}$, 基结构和电源分配网络的电导率分别设定为 σ_0 和 σ_p , 设定设计变量的初始值 X_0 、最小值 X_{\min} 、最大值 X_{\max} ;

5.2.2) 生长竞争: 生长竞争即柔性生长单元生长得到最优几何参数的过程, 生长竞争分为对每个柔性生长单元的局部优化与对所有柔性生长单元的全局优化两部分, 局部优化即是对每个柔性生长单元的一组几何参数的优化; 全局优化是在所有柔性生长单元生长完成后, 在保持单元位置和角度不变的情况下对所有单元的宽度进行优化的过程; 生长过程中, 每个新的柔性生长单元都从上一步生长出来的单元末端开始生长;

5.2.3) 局部重构: 构型重构发生在生长过程中, 用来决定某个柔性生长单元末端是否继续生长出下一级单元;

设定两个阈值: 生长阈值 W_b 和退化阈值 W_d :

$$W_b^{(k)} = 0.8 \cdot \frac{1}{N^{(k)}} \cdot \left(\sum_{i=1}^{n^{(k)}} \left(\frac{1}{3} (t_1 + t_2 + t_3) \right)_i^{(k)} + \sum_{j=1}^{N^{(k-1)}} \left(\frac{1}{3} (t_1 + t_2 + t_3) \right)_j^{(k)} \right)$$

$$W_d^{(k)} = 0.2 \cdot \frac{1}{N^{(k)}} \cdot \left(\sum_{i=1}^{n^{(k)}} \left(\frac{1}{3} (t_1 + t_2 + t_3) \right)_i^{(k)} + \sum_{j=1}^{N^{(k-1)}} \left(\frac{1}{3} (t_1 + t_2 + t_3) \right)_j^{(k)} \right)$$

当新生长的单元中间宽度值 $t_2 > W_b$, 则此新生长的单元将得到保留; 当 $t_2 < W_d$, 新生长的单元将被去除; 当 $W_d \leq t_2 \leq W_b$, 新生长的单元将得到保留, 但其末端不能再生长出下一级单元;

生长竞争与构型重构在MMA算法更新下不停迭代, 直到材料用量达到初始化时设定的最大值 β_0 ; 至此获得采用柔性生长单元生长形成的机载计算机板级低直流阻抗共面电磁带隙电源分配网络的最优化设计。

机载计算机板级低直流阻抗共面电磁带隙电源层设计方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电源板设计技术领域,特别涉及一种机载计算机板级低直流阻抗共面电磁带隙电源层设计方法。

背景技术

[0002] 随着数字电路速率、时钟频率以及PCB设计复杂度的提高,相关的电源完整性问题也越来越突出。机载计算机相比普通电子设备具有更加恶劣的工作环境与更高的性能标准,从而对电源完整性也提出了更高的要求。

[0003] PCB电源完整性问题主要涉及电压降与信号噪声两部分。由于这两部分在一定程度上反向影响,为了达到总体最优的平衡,对电源分配网络的设计就成为了关键。

[0004] 现有的电源分配网络设计仍然采用传统方法,即设计人员依靠经验与直觉进行初始设计,再通过多次实验来对初始设计进行修正。这种设计效率低下,阻碍了电源板性能的提高,无法满足设计要求。

发明内容

[0005] 为了克服上述现有技术的缺点,本发明的目的在于提供了一种机载计算机板级低直流阻抗共面电磁带隙电源层设计方法,在提高电源层综合设计性能的同时极大地提高了设计效率。

[0006] 为了达到上述目的,本发明采用的技术方案为:

[0007] 一种机载计算机板级低直流阻抗共面电磁带隙电源层设计方法,包括以下步骤:

[0008] 1) 等效模型的构建:将选定的电磁带隙单元等效为具有电导率 σ_0 的金属贴片,并将此金属贴片的材料作为模型中低电导率基底的材料,具有高电导率 σ_p 的铜质电源分配通道在基底材料上部生长形成;同时做出电流在等效金属贴片整个表面上均匀下渗的有效假设;

[0009] 2) 基结构有限元模型的初始化:根据所需设计的电源板尺寸,以等效金属贴片的材料参数建立设计域即基结构的有限元模型,根据电源板的实际电压与电流输入情况,对基结构施加电压、电流的载荷边界条件;

[0010] 电源板设计域是 $45\text{mm} \times 60\text{mm}$ 的矩形,设计域四周绝缘,其中一条长边中点为电流输入点,此处电压为 1V ,输入电流为 1A ,设计域中均匀渗电;采用 $1\text{mm} \times 1\text{mm}$ 大小的二维壳单元对基结构进行建模;

[0011] 3) 柔性生长单元的构建:电源分配网络的最终构型是由若干柔性生长单元组成,柔性生长单元通过取水平集函数的零水平集来显式表达;

[0012] 水平集函数为

$$[0013] \quad \phi(x, y) = \left(\frac{x'}{L}\right)^6 + \left(\frac{y'}{w(x')}\right)^6 - 1$$

[0014] 其中

$$[0015] \quad \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - (x_i + L \cos\theta) \\ y - (y_i + L \sin\theta) \end{bmatrix}$$

$$[0016] \quad w(x') = \frac{t_1 + t_2 - 2t_3}{2L^2} (x')^2 + \frac{t_2 - t_1}{2L} x' + t_3$$

[0017] (x_i, y_i) 是柔性生长单元A点的坐标, L 是单元半长, θ 是单元倾角, t_1, t_2 和 t_3 分别是柔性生长单元A, B, C三点的半宽, 这7个表示柔性生长单元几何参数的变量能够定义一个柔性生长单元:

$$[0018] \quad X_i = [x_i, y_i, L, t_1, t_2, t_3, \theta]^T$$

[0019] 基结构上的任意一个坐标为 (x, y) 的节点对第 i 个柔性生长单元可求出一个对应的水平集函数的值 ϕ_i , 节点的最终水平集函数值取所得各值的最大值 $\phi^s(x, y) = \max(\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots, \phi_n)$, n 为柔性生长单元的个数;

[0020] 4) 有限元分析: 在获得水平集函数值后, 基结构上每个四边形壳单元的电导率能够由其四个节点的电导率插值得到, 则由有限元方法有:

$$[0021] \quad K\varphi = J$$

[0022] 其中, K 是整个结构的电导率矩阵, φ 是电压, J 是电流载荷, 至此得柔性生长单元的有限元模型;

[0023] 5) 自适应生长方法:

[0024] 5.1) 优化问题数学模型的建立:

[0025] 目标函数: 电压降 $\Delta\varphi$ 最小, 平均电压最大;

[0026] 设计变量: $X_i = [X_1, X_1 \dots \dots X_n]$;

[0027] 约束条件: $K\varphi = J$

[0028] $V \leq V_{\max}$

[0029] 其中, X_i 是第 i 个柔性生长单元的几何参数, V 是高电导率材料所用的材料总用量, V_{\max} 是允许的最大材料用量;

[0030] 5.2) 自适应生长过程: 将生长过程分为主脉与次脉两个层级, 主脉生长完成后开始次脉的生长, 同时引入生长竞争与局部重构两种生长策略;

[0031] 5.2.1) 电源分配网络参数初始化: 在设计域后, 设定电源分配网络的最大材料用量 β_0 及生长过程中每一步的材料用量上限 $\beta^{(k)}$, 基结构和电源分配网络的电导率分别设定为 σ_0 和 σ_p , 设定设计变量的初始值 X_0 、最小值 X_{\min} 、最大值 X_{\max} ;

[0032] 5.2.2) 生长竞争: 生长竞争即柔性生长单元生长得到最优几何参数的过程, 生长竞争分为对每个柔性生长单元的局部优化与对所有柔性生长单元的全局优化两部分, 局部优化即是对每个柔性生长单元的一组几何参数的优化; 全局优化是在所有柔性生长单元生长完成后, 在保持单元位置和角度不变的情况下对所有单元的宽度进行优化的过程; 生长过程中, 每个新的柔性生长单元都从上一步生长出来的单元末端开始生长;

[0033] 5.2.3) 局部重构: 构型重构发生在生长过程中, 用来决定某个柔性生长单元末端是否继续生长出下一级单元;

[0034] 设定两个阈值: 生长阈值 W_b 和退化阈值 W_d ;

$$[0035] \quad W_b^{(k)} = 0.8 \cdot \frac{1}{N^{(k)}} \cdot \left(\sum_{i=1}^{n^{(k)}} \left(\frac{1}{3} (t_1 + t_2 + t_3) \right)_i \right)^{(k)} + \sum_{j=1}^{N^{(k-1)}} \left(\frac{1}{3} (t_1 + t_2 + t_3) \right)_j^{(k)}$$

$$[0036] \quad W_d^{(k)} = 0.2 \cdot \frac{1}{N^{(k)}} \cdot \left(\sum_{i=1}^{n^{(k)}} \left(\frac{1}{3} (t_1 + t_2 + t_3) \right)_i \right)^{(k)} + \sum_{j=1}^{N^{(k-1)}} \left(\frac{1}{3} (t_1 + t_2 + t_3) \right)_j^{(k)}$$

[0037] 当新生长的单元中间宽度值 $t_2 > W_b$, 则此新生长的单元将得到保留; 当 $t_2 < W_d$, 新生长的单元将被去除; 当 $W_d \leq t_2 \leq W_b$, 新生长的单元将得到保留, 但其末端不能再生长出下一级单元;

[0038] 生长竞争与构型重构在MMA算法更新下不停迭代, 直到材料用量达到初始化时设定的最大值 β_0 ; 至此获得采用柔性生长单元生长形成的机载计算机板级低直流阻抗共面电磁带隙电源分配网络的最优化设计。

[0039] 本发明的有益效果:

[0040] 本发明所用的柔性生长设计方法不依赖设计人员的设计经验, 能在设计阶段通过有限元的方法获得电源层的性能参数, 提高了设计的可靠性, 相较于传统设计具有更高的设计效率, 能够获得更优的设计结果, 同时降低了设计成本。

附图说明

[0041] 图1为本发明方法的流程图。

[0042] 图2为本发明等效模型的构建过程示意图。

[0043] 图3为本发明基结构有限元模型的初始化示意图。

[0044] 图4为本发明柔性生长单元的描述示意图

[0045] 图5为本发明柔性生长单元与有限元分析的结合方法示意图。

[0046] 图6为本发明自适应生长算法的生长过程示意图。

具体实施方式

[0047] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步的详细说明。

[0048] 参照图1, 一种机载计算机板级低直流阻抗共面电磁带隙电源层设计方法, 包括以下步骤:

[0049] 1) 等效模型的构建: 将选定的电磁带隙单元等效为具有电导率 σ_0 的金属贴片, 并将此金属贴片的材料作为模型中低电导率基底的材料, 具有高电导率 σ_p 的铜质电源分配通道在基底材料上部生长形成; 同时做出电流在等效金属贴片整个表面上均匀下渗的有效假设;

[0050] 如图2所示, 对于某一确定的EBG结构, 可将其等效为外形尺寸相同但电导率较低的矩形金属贴片, 等效方法如下: 求出EBG结构中A、B两点之间的电阻 R 与其电导率 σ_p 之间的关系公式; 求出等效金属贴片A、B两点之间的电阻 R' 与其电导率 σ_0 之间的关系公式; 令 $R' = R$, 即可求得等效金属贴片所对应的电导率 σ_0 ;

[0051] 2) 基结构有限元模型的初始化: 根据所需设计的电源板尺寸和等效金属贴片的材料参数, 用四边形壳单元建立设计域即基结构的有限元模型, 根据电源板的实际电压与电流输入情况, 对基结构施加电压、电流的载荷边界条件;

[0052] 如图3所示,电源板设计域是45mm×60mm的矩形,设计域四周绝缘,其中一条长边中点为电流输入点,此处电压为1V,输入电流为1A,设计域中均匀渗电;采用1mm×1mm大小的二维壳单元对基结构进行建模;

[0053] 3) 柔性生长单元的构建:电源分配网络的最终构型是由若干柔性生长单元组成的,柔性生长单元通过取水平集函数的零水平集来显式表达;

[0054] 如图4所示,水平集函数为

$$[0055] \quad \phi_i(x, y) = \left(\frac{x'}{L}\right)^6 + \left(\frac{y'}{w(x')}\right)^6 - 1$$

[0056] 其中

$$[0057] \quad \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - (x_i + L \cos\theta) \\ y - (y_i + L \sin\theta) \end{bmatrix}$$

$$[0058] \quad w(x') = \frac{t_1 + t_2 - 2t_3}{2L^2} (x')^2 + \frac{t_2 - t_1}{2L} x' + t_3$$

[0059] (x_i, y_i) 是柔性生长单元A点的坐标,L是单元半长, θ 是单元倾角, t_1, t_2 和 t_3 分别是柔性生长单元A,B,C三点的半宽,这7个表示柔性生长单元几何参数的变量可以定义一个柔性生长单元:

$$[0060] \quad X_i = [x_i, y_i, L, t_1, t_2, t_3, \theta]^T$$

[0061] 基结构上的任意一个坐标为 (x, y) 的节点对第*i*个柔性生长单元可求出一个对应的水平集函数的值 ϕ_i ,节点的最终水平集函数值取所得各值的最大值 $\phi^s(x, y) = \max(\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots, \phi_n)$, n 为柔性生长单元的个数;

[0062] 4) 有限元分析:在获得水平集函数值后,基结构上每个壳单元的电导率可由四个节点的电导率插值得到:

$$[0063] \quad \sigma_e = (\sigma_p - \sigma_0) \frac{\sum_{i=1}^4 (H(\phi_i^e))^2}{4} + \sigma_0$$

[0064] 其中 $H=H(x)$ 是Heaviside函数, $\phi_i^e (i=1, 2, 3, 4)$ 是基结构单元*e*的第*i*个节点处的水平集函数值;

[0065] 本实施例采用以下形式的Heaviside函数:

$$[0066] \quad H(\phi_i^e) = \begin{cases} 1 & \text{if } \phi_i^e \geq 0 \\ \sigma_0 & \text{if } \phi_i^e < 0 \\ \sigma_p & \end{cases}$$

[0067] 从而由有限元方法得:

$$[0068] \quad K\varphi = J$$

[0069] 其中,K是整个结构的电导率矩阵, φ 是电压,J是电流载荷;

[0070] 至此可得柔性生长单元的有限元模型,如图5所示;

[0071] 5) 自适应生长方法:

[0072] 5.1) 优化问题数学模型的建立:

[0073] 设计变量是每个柔性生长单元的几何参数,

$$[0074] \quad \mathbf{X}_i^{(k)} = \left[x_i^{(k)}, y_i^{(k)}, L_i^{(k)}, (t_1)_i^{(k)}, (t_2)_i^{(k)}, (t_3)_i^{(k)}, \theta_i^{(k)} \right]^T$$

[0075] 设计域中的平均电压为

$$[0076] \quad I = \frac{1}{N} \text{ones}(1, N) \cdot \varphi$$

[0077] 其中N为基结构网格的节点数;

[0078] 最大材料用量的约束条件表达为:

$$[0079] \quad \frac{\int_D H(\phi^s(U)) dV}{V_D} \leq \beta_0$$

[0080] 同理每个新生长出的柔性生长单元的材料用量约束条件表达为:

$$[0081] \quad \frac{\int_D H(\phi^s(\mathbf{X}_i^{(k)})) dV}{V_D} \leq \beta^{(k)}$$

[0082] 综上,电源分配网络拓扑优化的数学模型为:

$$[0083] \quad \text{Find} \quad \mathbf{X}_i^{(k)} = \left[x_i^{(k)}, y_i^{(k)}, L_i^{(k)}, (t_1)_i^{(k)}, (t_2)_i^{(k)}, (t_3)_i^{(k)}, \theta_i^{(k)} \right]^T$$

$$[0084] \quad \mathbf{X}_i^{(k)} \subset U$$

$$[0085] \quad k=1, 2, 3, \dots, k_{\max}$$

$$[0086] \quad i=1, 2, 3, \dots, n^{(k)}$$

$$[0087] \quad \text{Max} \quad I = I(U) = \frac{1}{N} \text{ones}(1, N) \cdot \varphi$$

$$[0088] \quad \text{s. t.} \quad \mathbf{K}\varphi = \mathbf{J}$$

$$[0089] \quad X_{\min} \leq X_i^{(k)} \leq X_{\max}$$

$$[0090] \quad \frac{\int_D H(\phi^s(\mathbf{X}_i^{(k)})) dV}{V_D} \leq \beta^{(k)}$$

$$[0091] \quad \frac{\int_D H(\phi^s(U)) dV}{V_D} \leq \beta_0$$

[0092] 5.2) 自适应生长过程:将生长过程分为主脉与次脉两个层级,主脉生长完成后开始次脉的生长,同时引入生长竞争与局部重构两种生长策略,如图6所示;

[0093] 5.2.1) 电源分配网络参数初始化:在设计域后,设定电源分配网络的最大材料用量 β_0 及生长过程中每一步的材料用量上限 $\beta^{(k)}$,基结构和电源分配网络的电导率分别设定为 σ_0 和 σ_p ,设定设计变量的初始值 X_0 、最小值 X_{\min} 、最大值 X_{\max} ;

[0094] 5.2.2) 生长竞争:生长竞争即柔性生长单元生长得到最优几何参数的过程,生长竞争分为对每个柔性生长单元的局部优化与对所有柔性生长单元的全局优化两部分,局部优化是对每个柔性生长单元的一组几何参数的优化;全局优化是在所有柔性生长单元生长

完成后,在保持单元位置和角度不变的情况下对所有单元的宽度进行优化的过程;生长过程中,每个新的柔性生长单元都从上一步生长出来的单元末端开始生长;

[0095] 5.2.3) 局部重构:构型重构发生在生长过程中,用来决定某个柔性生长单元末端是否继续生长出下一级单元,

[0096] 设定两个阈值:生长阈值 W_b 和退化阈值 W_d :

$$[0097] \quad W_b^{(k)} = 0.8 \cdot \frac{1}{N^{(k)}} \cdot \left(\sum_{i=1}^{n^{(k)}} \left(\frac{1}{3}(t_1 + t_2 + t_3) \right)_i^{(k)} + \sum_{j=1}^{N^{(k-1)}} \left(\frac{1}{3}(t_1 + t_2 + t_3) \right)_j^{(k)} \right)$$

$$[0098] \quad W_d^{(k)} = 0.2 \cdot \frac{1}{N^{(k)}} \cdot \left(\sum_{i=1}^{n^{(k)}} \left(\frac{1}{3}(t_1 + t_2 + t_3) \right)_i^{(k)} + \sum_{j=1}^{N^{(k-1)}} \left(\frac{1}{3}(t_1 + t_2 + t_3) \right)_j^{(k)} \right)$$

[0099] 当新生长的单元中间宽度值 $t_2 > W_b$,则此新生长的单元将得到保留;当 $t_2 < W_d$,新生长的单元将被去除;当 $W_d \leq t_2 \leq W_b$,新生长的单元将得到保留,但其末端不能再生长出下一级单元;

[0100] 生长竞争与构型重构在MMA算法更新下不停迭代,直到材料用量达到初始设定的最大值 β_0 ,至此获得采用柔性生长单元生长形成的机载计算机板级低直流阻抗共面电磁带隙电源分配网络的最优化设计。

[0101] 下面对本发明方法有效性的模拟及实验验证。

[0102] 为了说明本发明方法在电源板设计中的有效作用,由传统构型分配网络与本发明方法柔性生长形成的分配网络分别与两种不同结构EBG结合组成共四种电源板,对这四种电源板的电源完整性进行了对比,对比结果如下:

[0103] 1、电压降及电流密度对比:

| EBG | 电源分配网络 | 最低电压 (V) | 平均电压 (V) | 最高电流密度 (A/m^2) |
|----------------|--------------|----------|----------|----------------------|
| [0104] 第一种 EBG | 传统构型 | 0.99730 | 0.99865 | 1.0320×10^7 |
| | 柔性生长 所得构型 | 0.99870 | 0.99935 | 3.7617×10^6 |
| [0105] 第二种 EBG | 传统构型 | 0.99780 | 0.99890 | 1.4370×10^7 |
| | 柔性生长 所得构型 | 0.99850 | 0.99925 | 5.2414×10^6 |

[0106] 由以上结果可见,无论是电压还是电流,柔性生长形成的构型都有更好的表现,综合表现高出传统构型约30%。

[0107] 2、噪声抑制效果对比:

[0108] 对第一种EBG组成的电源板,传统构型和生长形成构型噪声抑制能力相近,可在2GHz~20GHz范围内将噪声抑制在-25dB以下;对于第二种EBG组成的电源板,生长形成的构型的噪声抑制能力明显高于传统构型,可在1.7GHz~19.5GHz范围内将噪声抑制在-25dB下。

[0109] 综上,柔性生长设计方法具有更高的设计效率,设计所得的电源板具有更好的性能。

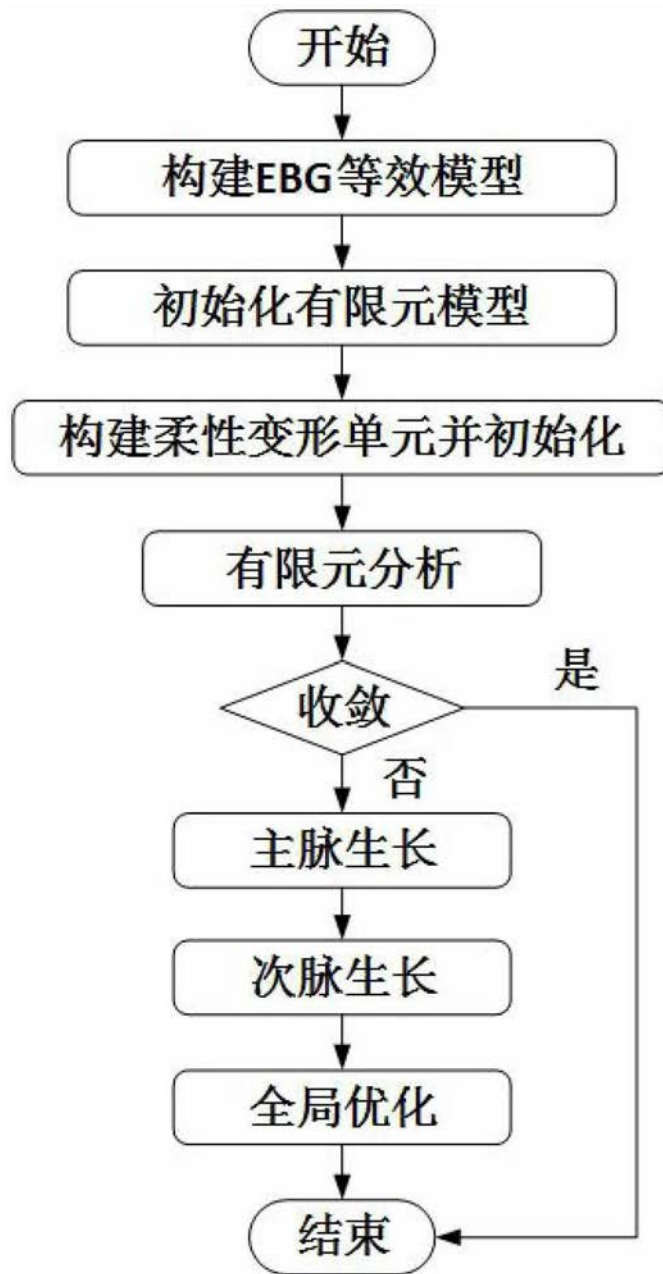


图1

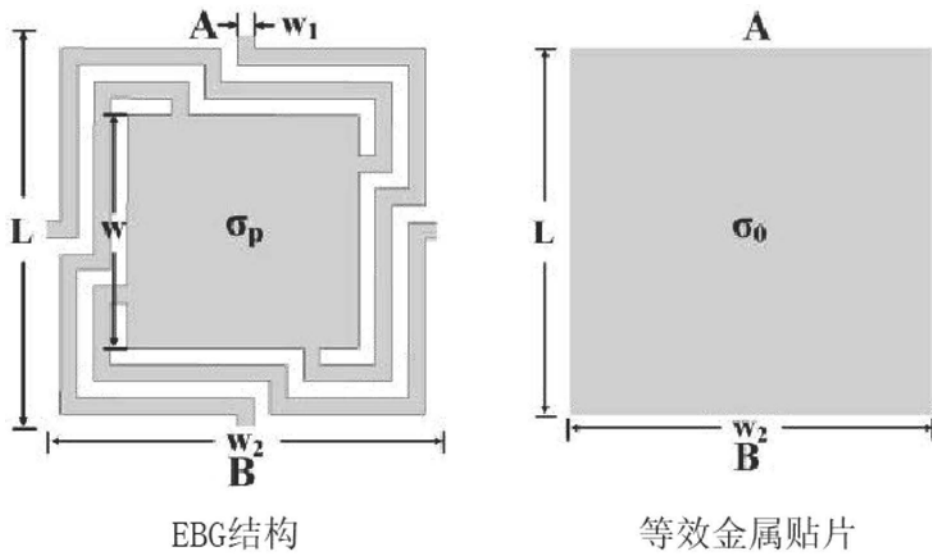


图2

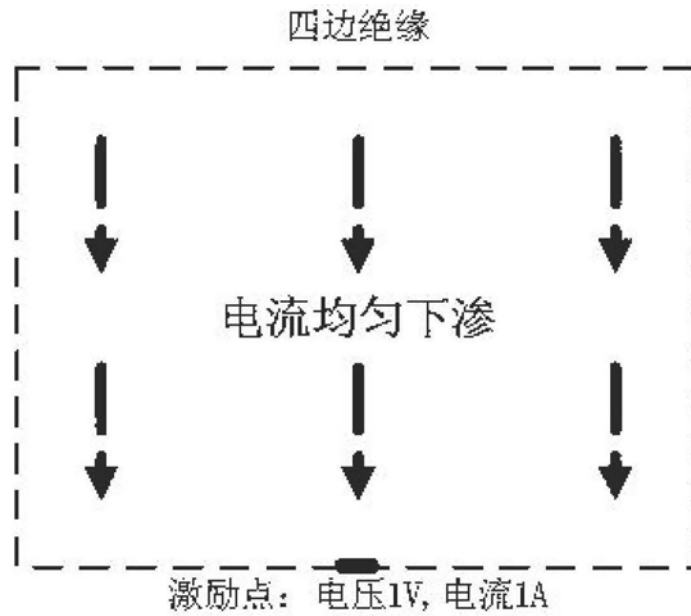


图3

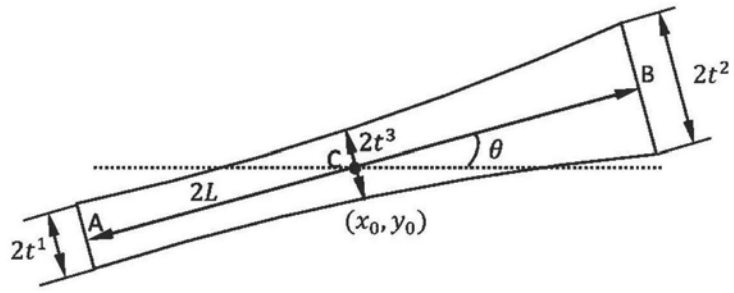


图4

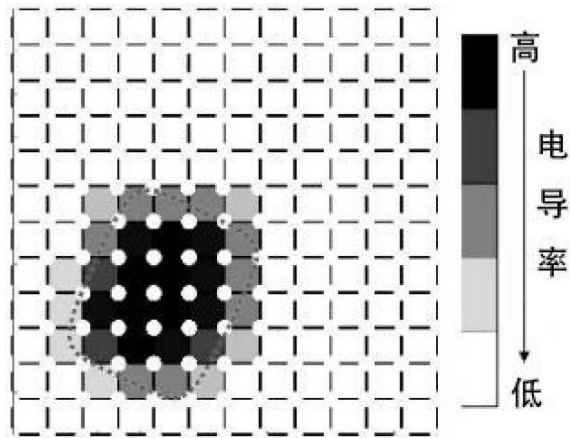


图5

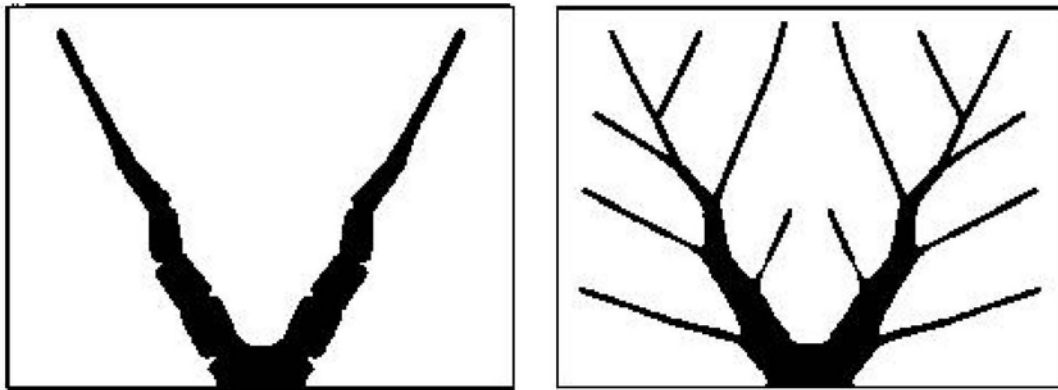


图6