

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2025 年 1 月 2 日 (02.01.2025)



(10) 国际公布号
WO 2025/001635 A1

(51) 国际专利分类号:
G06F 30/23 (2020.01) **G06F 30/10** (2020.01)
G06F 30/367 (2020.01) **G06T 17/20** (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2024/094381

(22) 国际申请日: 2024 年 5 月 21 日 (21.05.2024)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202310764866.9 2023年6月27日 (27.06.2023) CN

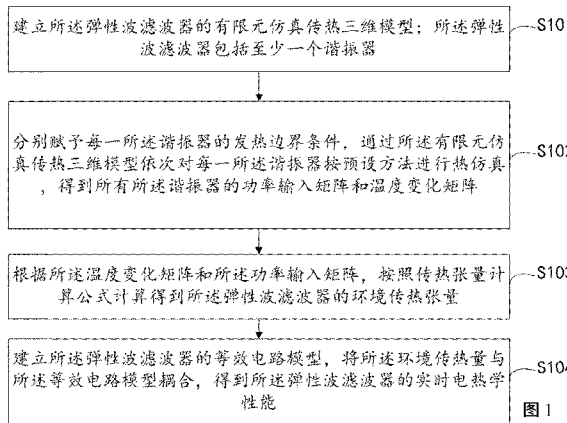
(71) 申请人: 深圳飞骧科技股份有限公司 (LANSUS TECHNOLOGIES INC.) [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区南头街道大汪山社区南光路286号水木一方大厦1栋1601, Guangdong 518052 (CN)。

(72) 发明人: 周温涵(ZHOU, Wenhan); 中国广东省深圳市南山区南头街道大汪山社区南光路286号水木一方大厦1栋1601, Guangdong 518052 (CN)。朱玉泉(ZHU, Yuquan); 中国广东省深圳市南山区南头街道大汪山社区南光路286号水木一方大厦1栋1601, Guangdong 518052 (CN)。关鹏(GUAN, Peng); 中国广东省深圳市南山区南头街道大汪山社区南光路286号水木一方大厦1栋1601, Guangdong 518052 (CN)。郭嘉帅(GUO, Jiashuai); 中国广东省深圳市南山区南头街道大汪山社区南光路286号水木一方大厦1栋1601, Guangdong 518052 (CN)。

(74) 代理人: 深圳君信诚知识产权代理事务所(普通合伙)(SHENZHEN JUNXINCHENG INTELLECTUAL PROPERTY FIRM (GENERAL PARTNERSHIP)); 中国广东省深圳市宝安区西乡

(54) Title: REAL-TIME SIMULATION METHOD AND SYSTEM FOR ELECTROTHERMAL PROPERTIES OF ELASTIC WAVE FILTER, AND RELATED DEVICE

(54) 发明名称: 弹性波滤波器电热学性能实时仿真方法、系统及相关设备



- S101 Establish a finite element simulation heat transfer three-dimensional model of an elastic wave filter, wherein the elastic wave filter comprises at least one resonator
- S102 Separately set a heating boundary condition of each resonator, and carry out thermal simulation on each resonator in sequence by means of the finite element simulation heat transfer three-dimensional model on the basis of a preset method so as to obtain a power input matrix and a temperature change matrix of all resonators
- S103 Perform calculation on the basis of the temperature change matrix, the power input matrix, and a formula for calculating a heat transfer tensor, so as to obtain an environment heat transfer tensor of the elastic wave filter
- S104 Establish an equivalent circuit model of the elastic wave filter, and couple the environment heat transfer tensor with the equivalent circuit model to obtain the real-time electrothermal properties of the elastic wave filter

(57) Abstract: The present invention provides a real-time simulation method and system for electrothermal properties of an elastic wave filter, and a related device. The method comprises the following steps: establishing a finite element simulation heat transfer three-dimensional model of the elastic wave filter; setting a heating boundary condition of each resonator, and carrying out thermal simulation on each resonator; calculating an environment heat transfer tensor of the elastic wave filter; establishing an equivalent circuit

街道桃源社区航城工业区智汇创新中心
D栋617, Guangdong 518000 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

model of the elastic wave filter, and then carrying out electrical simulation on the equivalent circuit model to obtain the heating power of the elastic wave filter; and coupling the environment heat transfer tensor with the heating power to finally obtain the real-time electrothermal properties of the elastic wave filter. The present invention has the beneficial effects that the environment heat transfer tensor of the elastic wave filter obtained by means of temperature simulation is coupled with the heating power, so that the temperature of each resonator on the elastic wave filter can be obtained by means of real-time simulation while using an equivalent circuit to design the elastic wave filter, thereby simplifying the steps of the temperature simulation, and greatly shortening the design period of the elastic wave filter.

(57) 摘要: 本发明提供了一种弹性波滤波器电热学性能实时仿真方法、系统及相关设备, 包括如下步骤: 建立弹性波滤波器的有限元仿真传热三维模型; 设置每一谐振器的发热边界条件, 对每一谐振器进行热仿真; 计算弹性波滤波器的环境传热张量; 建立弹性波滤波器的等效电路模型, 再对等效电路模型进行电仿真, 得到弹性波滤波器的发热功率; 将环境传热张量与发热功率耦合, 最终得到弹性波滤波器的实时电热学性能。本发明所达到的有益效果在于通过温度仿真获得弹性波滤波器的环境传热张量与发热功率相耦合, 实现通过等效电路设计弹性波滤波器的同时能实时仿真得到弹性波滤波器上每个谐振器的温度, 简化了温度仿真步骤, 极大缩短弹性波滤波器的设计周期。

弹性波滤波器电热学性能实时仿真方法、系统及相关设备

技术领域

5 本发明适用于热仿真、无线通讯领域，尤其涉及一种弹性波滤波器电热学性能实时仿真方法、系统及相关设备。

背景技术

随着通信技术的发展，MEMS 压电滤波器不断向着高频化、低损耗、高功
10 率耐受等方向发展。一般地，射频信号的通信距离、质量要求越高，MEMS 压电滤波器需要承受的输入功率越大。

器件工作中的损耗功率几乎都在以热量的形式耗散，也就是说损耗功率近
似于发热功率，基于这一规则，建立接近真实器件的热分析模型来预测 MEMS
滤波器的热学特性是优化其功率耐受性设计的重要手段。滤波器的功率耐受性
15 仿真实际就是获取其在工作时损耗掉的电学能量转化为热能后在滤波器上的温
度分布，通过设计优化使其在规定输入功率下最高温度不达到电极损毁的阈值。

因此，有必要需要寻找合理的计算模型将仿真结果与测试结果有机结合，
实时监控仿真时滤波器上的温度变化情况，实现对滤波器输入能量耐受性能的
准确预测。

20

发明内容

本发明提供一种弹性波滤波器电热学性能实时仿真方法、系统及相关设备，
旨在解决现有技术中没有考虑谐振器发热时受到的封装环境影响以及谐振器之
间的热串扰，导致无法与实际弹性波滤波器功率测试得到的结果进行合理比较，
25 从而无法对弹性波滤波器的迭代设计提供优化建议的问题。

为达到上述目的，第一方面，本发明提供了一种弹性波滤波器电热学性能

实时仿真方法，包括以下步骤：

建立所述弹性波滤波器的有限元仿真传热三维模型；所述弹性波滤波器包括至少一个谐振器；

5 分别赋予每一所述谐振器的发热边界条件，通过所述有限元仿真传热三维模型依次对每一所述谐振器按预设方法进行热仿真，得到所有所述谐振器的功率输入矩阵和温度变化矩阵；

根据所述温度变化矩阵和所述功率输入矩阵，按照传热张量计算公式计算得到所述弹性波滤波器的环境传热张量；

10 建立所述弹性波滤波器的等效电路模型，将所述环境传热量与所述等效电路模型耦合，得到所述弹性波滤波器的实时电热学性能。

优选的，建立所述弹性波滤波器的等效电路模型，将所述环境传热和量与
所述等效电路模型耦合，得到所述弹性波滤波器的实时电热学性能的步骤中，
具体包括：建立所述弹性波滤波器的等效电路模型，再对所述等效电路模型进行电仿真，得到所述弹性波滤波器的发热功率；将所述环境传热张量与所述发
15 热功率耦合，得到每一所述谐振器的实时温度，并根据每一所述谐振器的所述实时温度得到所述弹性波滤波器的实时电热学性能。

优选的，建立所述弹性波滤波器的有限元仿真传热三维模型的步骤中，通过有限元仿真软件建立所述弹性波滤波器的所述有限元仿真传热三维模型。

优选的，所述预设方法包括如下步骤：

20 定义所述谐振器 S 包括 n 个，所述谐振器的发热边界条件为 P ；其中， n 为正整数；对第 1 个所述谐振器 $S1$ 设置发热边界条件为 $P1$ ，其它所述谐振器设置发热边界条件为 0，进行热仿真得到每个所述谐振器的温度集合 $T1$ ：

$$T1=[a1 \ a2 \ a3 \ a4 \ a5]；$$

重复上一步骤依次对第 2 个所述谐振器 $S2$ 至第 n 个所述谐振器 Sn 设置发
25 热边界条件后进行热仿真处理，分别得到每个所述谐振器 S 的温度集合 $T2\sim Tn$ ；
最终得到所述功率输入矩阵 P 和所述温度变化矩阵 T ：

$$P = \begin{Bmatrix} P1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & P2 & 0 & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Pn \end{Bmatrix};$$

$$T = \begin{Bmatrix} T1 \\ T2 \\ \dots \\ \dots \\ Tn \end{Bmatrix}。$$

优选的，所述传热张量计算公式满足下列关系式：

5 $T - a = P \cdot R$;
其中，R 表示所述环境传热张量，a 表示所述弹性波滤波器工作时的环境温度。

优选的，n 个所述谐振器的实时温度分别定义为 $T1n$ ，满足下列关系式：

$$\begin{Bmatrix} T11 \\ T12 \\ \dots \\ \dots \\ T1n \end{Bmatrix} = P0 \cdot R ;$$

10

其中， $P0$ 表示所述发热功率， $\begin{Bmatrix} T11 \\ T12 \\ \dots \\ \dots \\ T1n \end{Bmatrix}$ 表示 n 个所述谐振器的实时温度。

优选的，所述等效电路模型为 mBVD 等效电路模型。

第二方面，本发明还提供一种弹性波滤波器电热学性能实时仿真系统，包括以下模块：

15 模型建立模块，用于建立所述弹性波滤波器的有限元仿真传热三维模型，所述弹性波滤波器包括至少一个谐振器；

热仿真模块，用于分别赋予每一所述谐振器的发热边界条件，通过所述有限元仿真传热三维模型依次对每一所述谐振器按预设方法进行热仿真，得到所有所述谐振器的功率输入矩阵和温度变化矩阵；

传热张量计算模块，用于根据所述温度变化矩阵和所述功率输入矩阵，按照传热张量计算公式计算所述弹性波滤波器环境传热张量；

等效电路模块，用于建立所述弹性波滤波器的等效电路模型，将所述环境传热量与所述等效电路模型耦合，得到所述弹性波滤波器的实时电热学性能。

5 第三方面，本发明还提供一种计算机设备，包括：存储器、处理器及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的弹性波滤波器电热学性能实时仿真程序，所述处理器执行所述弹性波滤波器电热学性能实时仿真程序时实现如上述实施例中任意一项所述的弹性波滤波器电热学性能实时仿真方法中的步骤。

第四方面，本发明还提供一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储
10 介质上存储有弹性波滤波器电热学性能实时仿真程序，所述弹性波滤波器电热学性能实时仿真程序被处理器执行时实现如上述实施例中任意一项所述的弹性波滤波器电热学性能实时仿真方法中的步骤。

与现有技术相比，本发明所达到的有益效果，在于通过温度仿真获得弹性波滤波器环境传热张量，将其带入到弹性波滤波器的 mBVD 等效电路模型中，
15 与等效电路的发热功率相耦合，实现通过等效电路设计弹性波滤波器的同时能实时仿真得到弹性波滤波器上每个谐振器的温度，简化了温度仿真步骤，极大缩短弹性波滤波器的设计周期。

附图说明

20 图 1 是本发明实施例提供的弹性波滤波器电热学性能实时仿真方法的流程图；

图 2 是本发明实施例提供的弹性波滤波器电热学性能实时仿真方法的弹性波滤波器有限元仿真传热三维模型示意图；

图 3 是本发明实施例提供的弹性波滤波器电热学性能实时仿真方法的弹性
25 波滤波器等效电路拓扑结构示意图；

图 4 是本发明实施例提供的弹性波滤波器电热学性能实时仿真方法的电仿

真时谐振器温度变化示意图；

图 5 是本发明实施例提供的弹性波滤波器电热学性能实时仿真系统示意图；

图 6 是本发明实施例提供的弹性波滤波器电热学性能实时仿真计算机设备示意图。

5

具体实施方式

为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

10

（实施例一）

请参照图 1，是本发明实施例提供的弹性波滤波器电热学性能实时仿真方法的流程框图。

S101、建立所述弹性波滤波器的有限元仿真传热三维模型，所述弹性波滤波器包括至少一个谐振器。

15

请参照图 2，图 2 是本发明实施例提供的弹性波滤波器电热学性能实时仿真方法的弹性波滤波器有限元仿真传热三维模型示意图；

20

在本发明实施例中，通过有限元仿真软件建立所述弹性波滤波器的有限元仿真传热三维模型，例如有限元仿真软件 COMSOL 或 Icepak，并且本发明实施例中的所述弹性波滤波器包括谐振器 S1、谐振器 S2、谐振器 S3、谐振器 S4 以及谐振器 S5 的五个谐振器，在此仅为示例性的，所述弹性波滤波器中所述谐振器的数量是可根据实际情况调整的。建立的有限元仿真传热三维模型如图 2 所示。

25

S102、分别赋予每一所述谐振器的发热边界条件，通过所述有限元仿真传热三维模型依次对每一所述谐振器按预设方法进行热仿真，得到所有所述谐振器的功率输入矩阵和温度变化矩阵。

在本发明实施例中，发热边界条件即谐振器的发热功率。示例性的，设置

谐振器 S1、S2、S3、S4 以及 S5 对应的发热功率分别为 P1、P2、P3、P4 以及 P5，并且有 P1=0.3W、P2=0.2W、P3=0.4W、P4=0.3W 以及 P5=0.2W，以上发热功率可以随机给定，不一定要符合实际发热功率。然后进行热仿真，在进行热仿真时，依次使一个谐振器发热，其他谐振器发热功率设置为 0，获得每个

5 谐振器的温度变化从而建立对应的温度变化矩阵 T1、T2、T3、T4 以及 T5。

例如：对谐振器 S1 设置发热功率 P1=0.3W，其他谐振器发热功率为 0，得到每个谐振器上的温度，则有所述谐振器 S1 的温度变化矩阵 $T1=[161.2 \quad 36.182 \quad 20.776 \quad 24.121 \quad 23.028]$ ，所述谐振器 S1 的功率输入矩阵为 $[0.3 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$ ；对谐振器 S2 赋予发热功率 P2= 0.2W，其他谐振器发热功率为 0，得到

10 每个谐振器上的温度，则有谐振器 S2 的温度变化矩阵 $T2=[30.788 \quad 112.23 \quad 23.564 \quad 23.203 \quad 31.407]$ ，所述谐振器 S2 的功率输入矩阵为 $[0 \quad 0.2 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$ 。

有 n 个谐振器，就进行热仿真 n 次，在本发明实施例中 n=5，最终将每一所述谐振器的功率输入矩阵计算得到功率输入矩阵 P，

$$P = \begin{Bmatrix} P1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & P2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & P3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & P4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & P5 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2 \end{Bmatrix};$$

15 将每一所述谐振器的温度变化矩阵计算得到温度变化矩阵 T，

$$T = \begin{Bmatrix} T1 \\ T2 \\ T3 \\ T4 \\ T5 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 161.2 & 36.182 & 20.776 & 24.121 & 23.028 \\ 30.788 & 112.23 & 23.564 & 23.203 & 31.407 \\ 21.034 & 27.129 & 211.99 & 23.156 & 24.313 \\ 24.121 & 24.804 & 22.367 & 220.82 & 20.67 \\ 22.019 & 31.407 & 22.157 & 20.447 & 156.54 \end{Bmatrix}。$$

S103、根据所述温度变化矩阵和所述功率输入矩阵，按照传热张量计算公式计算所述弹性波滤波器的工作环境传热张量。

在本发明实施例中，所述传热张量计算公式满足下列关系式：

$$T - a = P \cdot R;$$

其中，a 表示所述弹性波滤波器工作时的环境温度，R 表示环境传热张量。

示例性的，当所述弹性波滤波器工作时的环境温度为 20 摄氏度即 a=20℃，并

将步骤 S102 中的温度变化矩阵 P 以及功率输入矩阵 T 代入关系式，则有：

$$R = P^{-1} \cdot (T - 20) = \begin{Bmatrix} 470.6667 & 53.9400 & 2.5867 & 13.7367 & 10.0933 \\ 53.9400 & 461.1500 & 17.8200 & 16.0150 & 57.0350 \\ 2.5850 & 17.8225 & 479.9750 & 7.8900 & 10.7825 \\ 13.7367 & 16.0133 & 7.8900 & 669.4000 & 2.2333 \\ 10.0950 & 57.0350 & 10.7850 & 2.2350 & 682.7000 \end{Bmatrix};$$

S104、建立所述弹性波滤波器的等效电路模型，将所述环境传热量与所述等效电路模型耦合，得到所述弹性波滤波器的实时电热学性能。

5 请参照图 3，图 3 是本发明实施例提供的弹性波滤波器电热学性能实时仿真方法的弹性波滤波器等效电路拓扑结构示意图；

在本发明实施例中，采用 mBVD (Modified Butterworth-Van Dyke) 等效电路模型对所述弹性波滤波器建立对应的等效电路模型，所述 mBVD 等效电路模型可以用于描述谐振器的等效电路，从而帮组设计和分析谐振器的性能。建立的所述等效电路模型的等效拓扑结构如图 3 所示，其中端口 1 为信号输入端，
10 端口 2 为信号输出端，端口 3 和端口 4 为接地端。再通过射频仿真软件 ADS (Advanced Design System) 进行电学仿真。在所述射频仿真软件进行电学仿真时，可以通过计算每个电阻上的电流电压来获取每个所述谐振器上消耗的电功率即所述谐振器的发热功率。示例性的，输入弹性波滤波器的功率后，可以得到所述谐振器 S1-S5 对应的发热功率分别为 P11、P12、P13、P14 以及 P15，
15 定义弹性波滤波器的发热功率为 P0，则有 $P0 = [P11, P12, P13, P14, P15]$ 。

在本发明实施例中，所述谐振器的数量为 n 个时，则 n 个所述谐振器的实时温度分别定义为 $T1n$ 满足下列关系式：

$$\begin{Bmatrix} T11 \\ T12 \\ \dots \\ \dots \\ T1n \end{Bmatrix} = P0 \cdot R;$$

20 其中， $\begin{Bmatrix} T11 \\ T12 \\ \dots \\ \dots \\ T1n \end{Bmatrix}$ 表示 n 个所述谐振器的实时温度。

示例性的，将步骤 S103 得到的环境传热张量 R 与步骤 S104 得到的 mBVD

等效电路中的发热功率 P_0 进行换算，可以实时得到谐振器 S1-S5 对应的温度 T11、T12、T13、T14 以及 T15。所述谐振器 S1-S5 的实时温度满足下列关系式：

$$\begin{Bmatrix} T_{11} \\ T_{12} \\ T_{13} \\ T_{14} \\ T_{15} \end{Bmatrix} = P_0 \cdot R ;$$

将步骤 S103 得到的环境传热张量 R 与步骤 S104 得到的发热功率 P_0 代入，

5 可以求得：

$$T_{11} = (1412 \cdot P_{11})/3 + (2697 \cdot P_{12})/50 + (517 \cdot P_{13})/200 + (4121 \cdot P_{14})/300 + (2019 \cdot P_{15})/200 ;$$

$$T_{12} = (2697 \cdot P_{11})/50 + (9223 \cdot P_{12})/20 + (7129 \cdot P_{13})/400 + (1201 \cdot P_{14})/75 + (11407 \cdot P_{15})/200 ;$$

$$10 \quad T_{13} = (194 \cdot P_{11})/75 + (891 \cdot P_{12})/50 + (19199 \cdot P_{13})/40 + (789 \cdot P_{14})/100 + (2157 \cdot P_{15})/200 ;$$

$$T_{14} = (4121 \cdot P_{11})/300 + (3203 \cdot P_{12})/200 + (789 \cdot P_{13})/100 + (3347 \cdot P_{14})/5 + (447 \cdot P_{15})/200 ;$$

$$15 \quad T_{15} = (757 \cdot P_{11})/75 + (11407 \cdot P_{12})/200 + (4313 \cdot P_{13})/400 + (67 \cdot P_{14})/30 + (6827 \cdot P_{15})/10。$$

并将上述数据耦合射频仿真软件中，并根据每一所述谐振器的所述实时温度得到所述弹性波滤波器的实时电热学性能。

请参照图 4，图 4 是本发明实施例提供的弹性波滤波器电热学性能实时仿真方法的电仿真时谐振器温度变化示意图；

20 在射频仿真软件进行电学仿真时，无论等效电路怎么设计或优化，都可以实时得到每个所述谐振器的发热功率。并且通过所述谐振器的实时温度关系式；可以随时得到所述谐振器 S1-S5 在不同输入功率、不同工作频率下的发热温度 T11-T15。示例性的，如图 4 所示，定义弹性波滤波器输入功率为 P_{in} ，当 $P_{in}=32\text{mW}$ 时谐振器 S1-S5 的温度变化，弹性波滤波器插损曲线下方的五条曲线
25 线分别表示弹性波滤波器在不同的工作频率时，谐振器 S1-S5 的温度变化。其中 R_{Ffreq} 表示弹性波滤波器工作频率，HB.T14 表示谐振器温度，m2 点表示弹性波滤波器工作频率 $R_{Ffreq}=1.829\text{E}9$ 时，该谐振器温度变化 HB.T14=4.918，m3 点表示弹性波滤波器工作频率 $R_{Ffreq}=1.905\text{E}9$ 时，该谐振器温度变化

HB.T14=4.382。本发明通过电热耦合的方式，将温度仿真得到的环境传热张量代入到弹性波滤波器的 mBVD 等效电路模型，实现在设计时实时预测弹性滤波器在不同输入功率下的温度分布情况。

与现有技术相比，本发明所达到的有益效果，在于通过温度仿真获得弹性波滤波器的环境传热张量，将其带入到弹性波滤波器的 mBVD 等效电路模型中，与等效电路的发热功率相耦合，实现通过等效电路设计弹性波滤波器的同时能实时仿真得到弹性波滤波器上每个谐振器的温度，简化了温度仿真步骤，极大缩短弹性波滤波器的设计周期。

（实施例二）

本发明实施例还提供一种弹性波滤波器电热学性能实时仿真系统，请参照图 5，图 5 是本发明实施例提供的弹性波滤波器电热学性能实时仿真系统 200 的结构示意图，其包括：

201、模型建立模块，用于建立所述弹性波滤波器的有限元仿真传热三维模型；所述弹性波滤波器包括至少一个谐振器。

在本发明实施例中，通过有限元仿真软件建立所述弹性波滤波器的有限元仿真传热三维模型，例如有限元仿真软件 COMSOL 或 Icepak。并且所述弹性波滤波器中谐振器的数量可根据实际情况调整。

202、热仿真模块，用于分别赋予每一所述谐振器的发热边界条件，通过所述有限元仿真传热三维模型依次对每一所述谐振器按预设方法进行热仿真，得到所有所述谐振器的功率输入矩阵和温度变化矩阵。

在本发明实施例中，发热边界条件即谐振器的发热功率。设置每一所述谐振器的发热功率，并且所述发热功率可以随机给定，不一定要符合实际发热功率。然后进行热仿真，在进行热仿真时，依次使一个所述谐振器发热，其他所述谐振器发热功率设置为 0，从而获得每个所述谐振器的温度变化从而建立对应的温度变化矩阵并建立对应的功率输入矩阵。示例性的，例如：当谐振器数量为 5 个时，定义第一个谐振器为 S1，设置发热功率为 P1，温度矩阵为 T1。

设置发热功率 $P_1=0.3W$,其他谐振器发热功率为 0 ,得到每个谐振器上的温度 ,
 则有所述谐振器 S1 的温度矩阵 $T_1=[161.2 \quad 36.182 \quad 20.776 \quad 24.121 \quad 23.028]$,
 所述谐振器 S1 的功率输入矩阵为 $[0.3 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$ 。再根据每一所述谐振器的
 功率输入矩阵建立温度变化矩阵 , 每一所述谐振器的温度变化矩阵建立功率输
 5 入矩阵。

203、传热张量计算模块 ,用于根据所述温度变化矩阵和所述功率输入矩阵 ,
 按照传热张量计算公式计算得到所述弹性波滤波器的环境传热张量。

在本发明实施例中 , 所述传热张量计算公式满足下列关系式 :

$$T - a = P \cdot R ;$$

10 其中 ,a 表示所述弹性波滤波器工作时的环境温度 ,R 表示环境传热张量 ,
 P 表示温度变化矩阵 , T 表示功率输入矩阵。

204、等效电路模块 ,用于建立所述弹性波滤波器的等效电路模型 ,将所述
 环境传热量与所述等效电路模型耦合 ,得到所述弹性波滤波器的实时电热学性
 能。

15 在本发明实施例中 , 等效电路模型为 mBVD 等效电路模型 ,再通过射频仿
 真软件 ADS (Advanced Design System) 进行电学仿真。在所述射频仿真软件
 进行电学仿真时 , 可以通过计算每个电阻上的电流电压来获取每个所述谐振器
 上消耗的电功率即所述谐振器的发热功率。

在本发明实施例中 , 所述谐振器的数量为 n 个时 , 则 n 个所述谐振器的实
 20 时温度分别定义为 T_{1n} , 满足下列关系式 :

$$\begin{Bmatrix} T_{11} \\ T_{12} \\ \dots \\ \dots \\ T_{1n} \end{Bmatrix} = P_0 \cdot R ;$$

其中 , P_0 表示弹性波滤波器的发热功率 , $\begin{Bmatrix} T_{11} \\ T_{12} \\ \dots \\ \dots \\ T_{1n} \end{Bmatrix}$ 表示 n 个所述谐振器的实

时温度。

所述弹性波滤波器电热学性能实时仿真系统 200 能够实现如上述实施例中的弹性波滤波器电热学性能实时仿真方法中的步骤,且能实现同样的技术效果,参上述实施例中的描述,此处不再赘述。

(实施例三)

5 本发明实施例还提供一种计算机设备,请参照图 6,图 6 是本发明实施例提供的计算机设备的结构示意图,所述计算机设备 300 包括:存储器 302、处理器 301 及存储在所述存储器 302 上并可在所述处理器 301 上运行的弹性波滤波器电热学性能实时仿真程序。

所述处理器 301 调用所述存储器 302 存储的弹性波滤波器电热学性能实时
10 仿真程序,执行本发明实施例提供的弹性波滤波器电热学性能实时仿真方法中的步骤,请结合图 1,具体包括以下步骤:

S101、建立所述弹性波滤波器的有限元仿真传热三维模型;所述弹性波滤波器包括至少一个谐振器;

S102、分别赋予每一所述谐振器的发热边界条件,通过所述有限元仿真传热三维模型依次对每一所述谐振器按预设方法进行热仿真,得到所有所述谐振
15 器的功率输入矩阵和温度变化矩阵;

S103、根据所述温度变化矩阵和所述功率输入矩阵,按照传热张量计算公式计算得到所述弹性波滤波器的环境传热张量;

S104、建立所述弹性波滤波器的等效电路模型,将所述环境传热量与所述
20 等效电路模型耦合,得到所述弹性波滤波器的实时电热学性能。

本发明实施例提供的计算机设备 300 能够实现如上述实施例中的弹性波滤波器电热学性能实时仿真方法中的步骤,且能实现同样的技术效果,参上述实施例中的描述,此处不再赘述。

(实施例四)

25 本发明实施例还提供一种计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质上存储有弹性波滤波器电热学性能实时仿真程序,该弹性波滤波器电热学性能

实时仿真程序被处理器执行时实现本发明实施例提供的弹性波滤波器电热学性能实时仿真方法中的各个过程及步骤,且能实现相同的技术效果,为避免重复,这里不再赘述。

本领域普通技术人员可以理解实现上述实施例方法中的全部或部分流程,是可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成,所述的程序可存储于一计算机可读取存储介质中,该程序在执行时,可包括如上述各方法的实施例的流程。其中,所述的存储介质可为磁碟、光盘、只读存储记忆体(Read-Only Memory, ROM)或随机存取存储器(Random Access Memory, 简称 RAM)等。

需要说明的是,在本文中,术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含,从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者装置不仅包括那些要素,而且还包括没有明确列出的其他要素,或者是还包括为这种过程、方法、物品或者装置所固有的要素。在没有更多限制的情况下,由语句“包括一个……”限定的要素,并不排除在包括该要素的过程、方法、物品或者装置中还存在另外的相同要素。

通过以上的实施方式的描述,本领域的技术人员可以清楚地了解到上述实施例方法可借助软件加必需的通用硬件平台的方式来实现,当然也可以通过硬件,但很多情况下前者是更佳的实施方式。基于这样的理解,本发明的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分可以以软件产品的形式体现出来,该计算机软件产品存储在一个存储介质(如 ROM/RAM、磁碟、光盘)中,包括若干指令用以使得一台终端(可以是手机,计算机,服务器,空调器,或者网络设备等)执行本发明各个实施例所述的方法。

上面结合附图对本发明的实施例进行了描述,所揭露的仅为本发明较佳实施例而已,但是本发明并不局限于上述的具体实施方式,上述的具体实施方式仅仅是示意性的,而不是限制性的,本领域的普通技术人员在本发明的启示下,在不脱离本发明宗旨和权利要求所保护的范围情况下,还可做出很多形式用等同变化,均属于本发明的保护之内。

权 利 要 求 书

1、一种弹性波滤波器电热学性能实时仿真方法，其特征在于，所述弹性波滤波器电热学性能实时仿真方法包括以下步骤：

建立所述弹性波滤波器的有限元仿真传热三维模型；所述弹性波滤波器包
5 括至少一个谐振器；

分别赋予每一所述谐振器的发热边界条件，通过所述有限元仿真传热三维模型依次对每一所述谐振器按预设方法进行热仿真，得到所有所述谐振器的功率输入矩阵和温度变化矩阵；

根据所述温度变化矩阵和所述功率输入矩阵，按照传热张量计算公式计算
10 得到所述弹性波滤波器的环境传热张量；

建立所述弹性波滤波器的等效电路模型，将所述环境传热量与所述等效电路模型耦合，得到所述弹性波滤波器的实时电热学性能。

2、如权利要求 1 所述的弹性波滤波器电热学性能实时仿真方法，其特征在于，建立所述弹性波滤波器的等效电路模型，将所述环境传热和量与所述等效
15 电路模型耦合，得到所述弹性波滤波器的实时电热学性能的步骤中，具体包括：

建立所述弹性波滤波器的等效电路模型，再对所述等效电路模型进行电仿真，得到所述弹性波滤波器的发热功率；

将所述环境传热张量与所述发热功率耦合，得到每一所述谐振器的实时温度，并根据每一所述谐振器的所述实时温度得到所述弹性波滤波器的实时电
20 学性能。

3、如权利要求 1 所述的弹性波滤波器电热学性能实时仿真方法，其特征在于，建立所述弹性波滤波器的有限元仿真传热三维模型的步骤中，通过有限元仿真软件建立所述弹性波滤波器的所述有限元仿真传热三维模型。

4、如权利要求 2 所述的弹性波滤波器电热学性能实时仿真方法，其特征在
25 于，所述预设方法包括如下步骤：

定义所述谐振器 S 包括 n 个，所述谐振器的发热边界条件为 P ；其中， n

为正整数；

对第 1 个所述谐振器 S1 设置发热边界条件为 $P1$ ，其它所述谐振器设置发热边界条件为 0，进得热仿真得到每个所述谐振器的温度集合 $T1$ ：

$$T1=[a1 \quad a2 \quad a3 \quad a4 \quad a5]；$$

- 5 重复上一步骤依次对第 2 个所述谐振器 $S2$ 至第 n 个所述谐振器 Sn 设置发热边界条件后进行热仿真处理，分别得到每个所述谐振器 S 的温度集合 $T2\sim Tn$ ；最终得到所述功率输入矩阵 P 和所述温度变化矩阵 T ：

$$P = \begin{Bmatrix} P1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & P2 & 0 & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Pn \end{Bmatrix}；$$

10

$$T = \begin{Bmatrix} T1 \\ T2 \\ \dots \\ \dots \\ Tn \end{Bmatrix}。$$

5、如权利要求 4 所述的弹性波滤波器电热学性能实时仿真方法，其特征在于，所述传热张量计算公式满足下列关系式：

$$T - a = P \cdot R；$$

- 15 其中， R 表示所述环境传热张量， a 表示所述弹性波滤波器工作时的环境温度。

6、如权利要求 5 所述的弹性波滤波器电热学性能实时仿真方法，其特征在于， n 个所述谐振器的实时温度分别定义为 $T1n$ ，满足下列关系式：

$$\begin{Bmatrix} T11 \\ T12 \\ \dots \\ \dots \\ T1n \end{Bmatrix} = P0 \cdot R；$$

其中， P_0 表示所述发热功率， $\begin{Bmatrix} T_{11} \\ T_{12} \\ \dots \\ T_{1n} \end{Bmatrix}$ 表示 n 个所述谐振器的实时温度。

7、如权利要求 1 所述的弹性波滤波器电热学性能实时仿真方法，其特征在于，所述等效电路模型为 mBVD 等效电路模型。

8、一种弹性波滤波器电热学性能实时仿真系统，其特征在于，包括以下模
5 块：

模型建立模块，用于建立所述弹性波滤波器的有限元仿真传热三维模型，
所述弹性波滤波器包括至少一个谐振器；

热仿真模块，用于分别赋予每一所述谐振器的发热边界条件，通过所述有
限元仿真传热三维模型依次对每一所述谐振器按预设方法进行热仿真，得到所
10 有所述谐振器的功率输入矩阵和温度变化矩阵；

传热张量计算模块，用于根据所述温度变化矩阵和所述功率输入矩阵，按
照传热张量计算公式计算所述弹性波滤波器的环境传热张量；

等效电路模块，用于建立所述弹性波滤波器的等效电路模型，将所述环境
传热量与所述等效电路模型耦合，得到所述弹性波滤波器的实时电热学性能。

9、一种计算机设备，其特征在于，包括：存储器、处理器及存储在所述存
15 储器上并可在所述处理器上运行的弹性波滤波器电热学性能实时仿真程序，所
述处理器执行所述弹性波滤波器电热学性能实时仿真程序时实现如权利要求
1-7 中任意一项所述的弹性波滤波器电热学性能实时仿真方法中的步骤。

10、一种计算机可读存储介质，其特征在于，所述计算机可读存储介质上
20 存储有弹性波滤波器电热学性能实时仿真程序，所述弹性波滤波器电热学性能
实时仿真程序被处理器执行时实现如权利要求 1-7 中任意一项所述的弹性波滤
波器电热学性能实时仿真方法中的步骤。

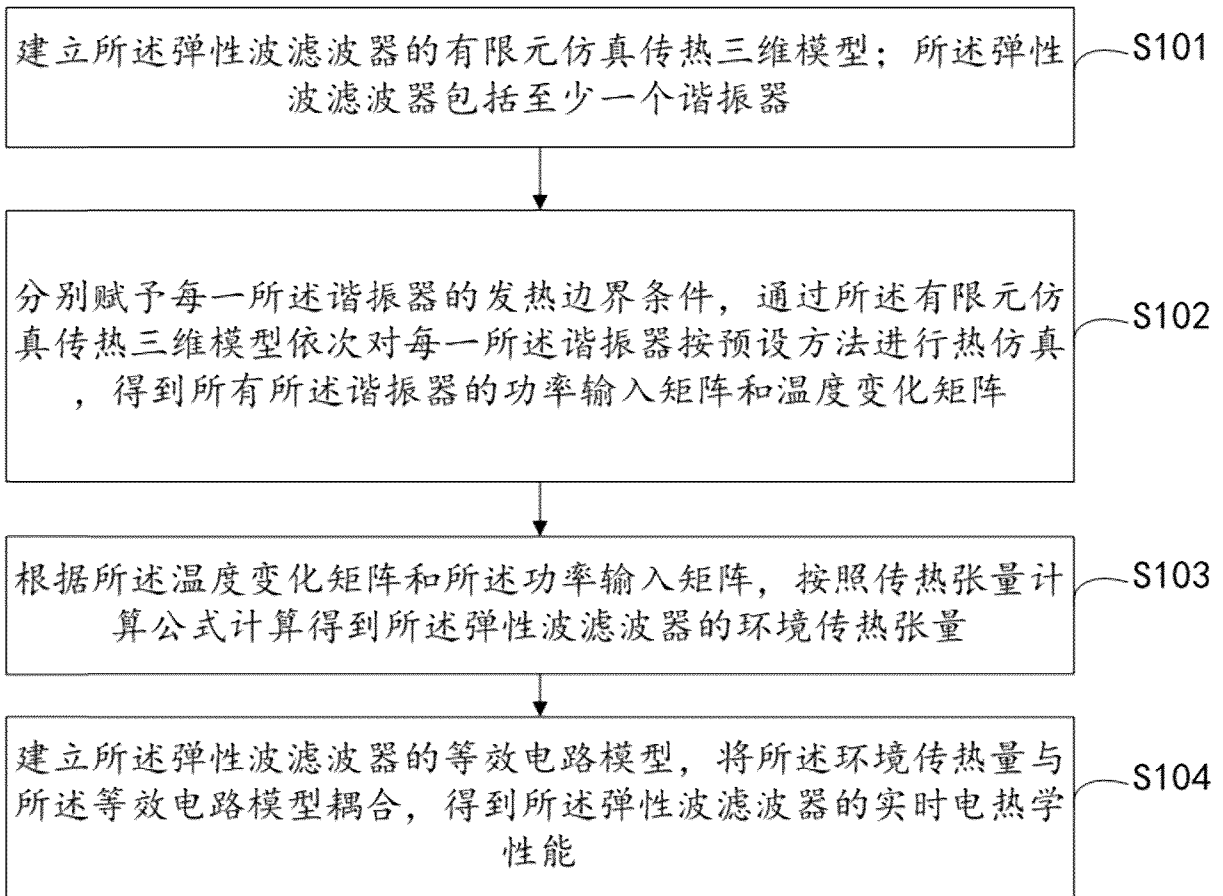


图 1

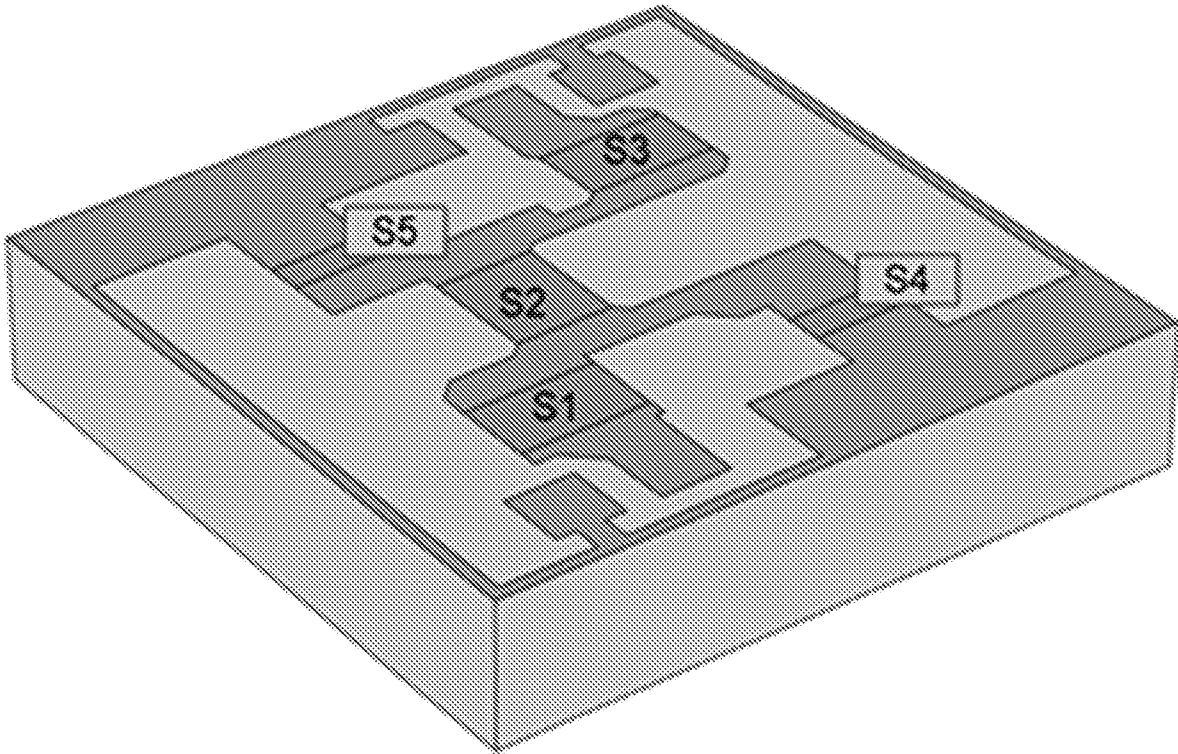


图 2

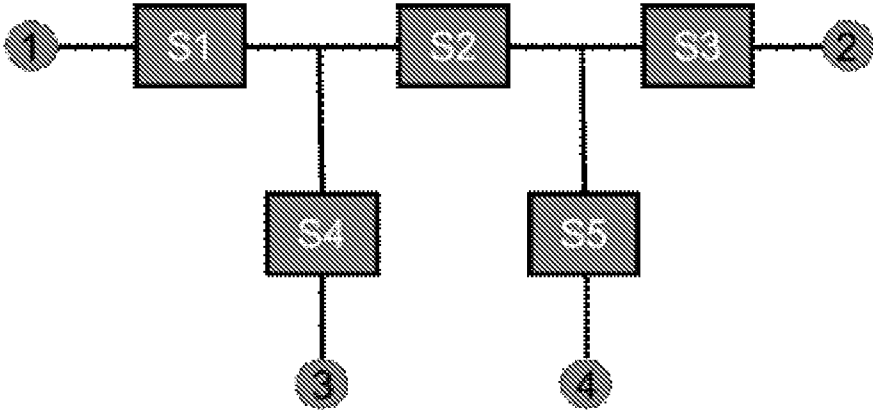


图 3

弹性波滤波器插损曲线

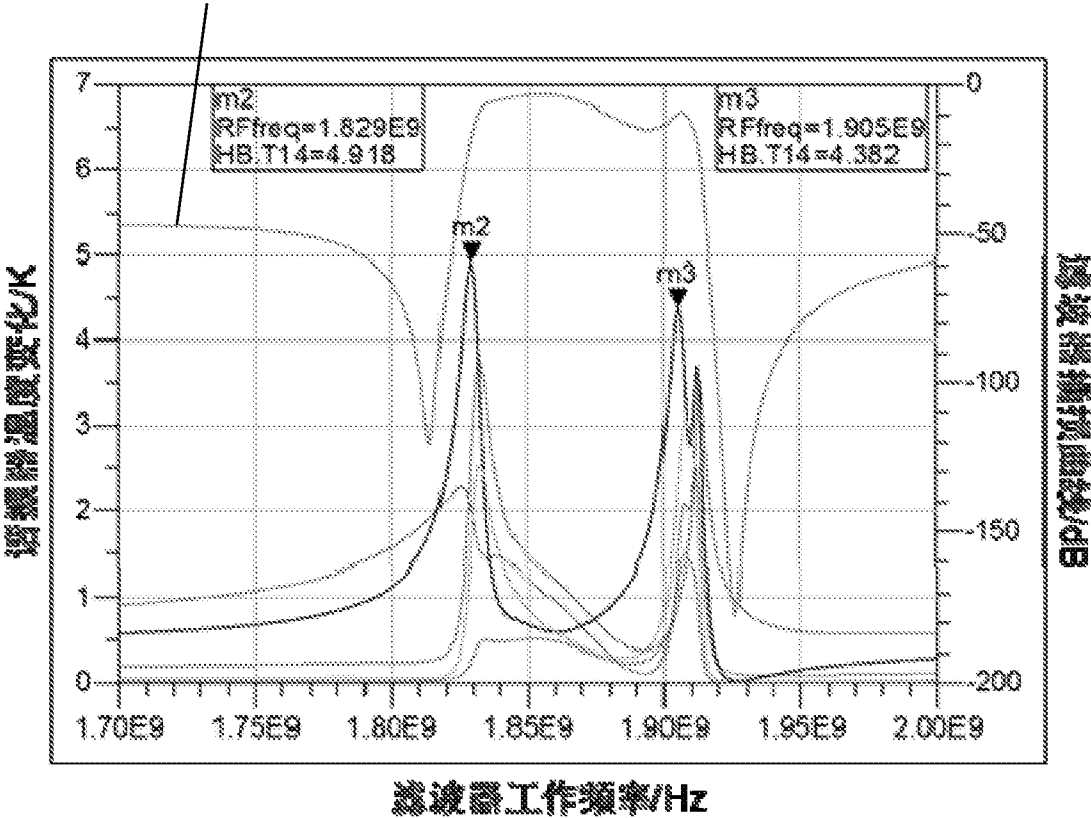


图 4

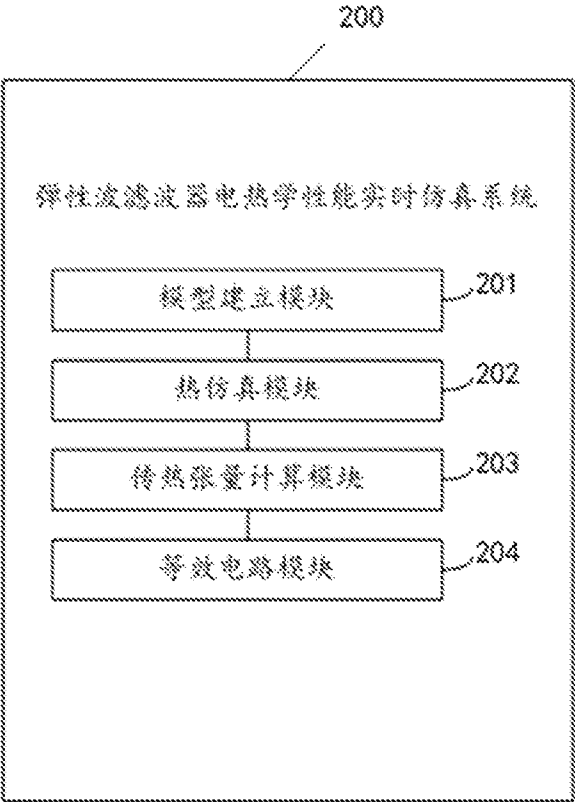


图 5

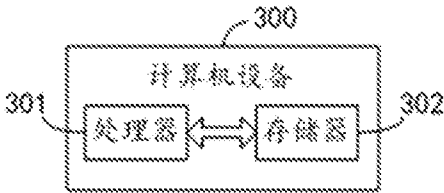


图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2024/094381

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G06F30/23(2020.01)i; G06F30/367(2020.01)i; G06F30/10(2020.01)i; G06T17/20(2006.01)n According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC: G06F, G06T Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) VEN, CNTXT, USTXT, DWPI, CNKI, IEEE: 弹性波, 滤波器, 仿真, 热, 三维, 模型, 温度, 张量, 等效电路, 功率, elastic wave, filter, simulation, heat, three-dimensional, 3d, modeltemperature, tensor, equivalent circuit, power		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 116502508 A (LANSUS TECHNOLOGIES INC.) 28 July 2023 (2023-07-28) claims 1-10	1-10
A	CN 116070585 A (LANSUS TECHNOLOGIES INC.) 05 May 2023 (2023-05-05) description, paragraphs 18-35	1-10
A	CN 106909751 A (CHENGDU HIWAFER SEMICONDUCTOR CO., LTD.) 30 June 2017 (2017-06-30) entire document	1-10
A	CN 114398755 A (CASIC ROCKET TECHNOLOGY CO., LTD.) 26 April 2022 (2022-04-26) entire document	1-10
A	US 6674856 B1 (AGERE SYSTEMS INC.) 06 January 2004 (2004-01-06) entire document	1-10
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: “A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance “D” document cited by the applicant in the international application “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed “T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art “&” document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 04 July 2024		Date of mailing of the international search report 30 July 2024
Name and mailing address of the ISA/CN China National Intellectual Property Administration (ISA/ CN) China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2024/094381

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	116502508	A	28 July 2023	None			
CN	116070585	A	05 May 2023	None			
CN	106909751	A	30 June 2017	None			
CN	114398755	A	26 April 2022	None			
US	6674856	B1	06 January 2004	JP	2001177447	A	29 June 2001

A. 主题的分类

G06F30/23(2020.01)i; G06F30/367(2020.01)i; G06F30/10(2020.01)i; G06T17/20(2006.01)n

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC: G06F, G06T

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

VEN, CNTXT, USTXT, DWPI, CNKI, IEEE: 弹性波, 滤波器, 仿真, 热, 三维, 模型, 温度, 张量, 等效电路, 功率, elastic wave, filter, simulation, heat, three-dimensional, 3d, modeltemperature, tensor, equivalent circuit, power

C. 相关文件

类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 116502508 A (深圳飞骧科技股份有限公司) 2023年7月28日 (2023 - 07 - 28) 权利要求1-10	1-10
A	CN 116070585 A (深圳飞骧科技股份有限公司) 2023年5月5日 (2023 - 05 - 05) 说明书第18-35段	1-10
A	CN 106909751 A (成都海威华芯科技有限公司) 2017年6月30日 (2017 - 06 - 30) 全文	1-10
A	CN 114398755 A (航天科工火箭技术有限公司) 2022年4月26日 (2022 - 04 - 26) 全文	1-10
A	US 6674856 B1 (AGERE SYSTEMS INC.) 2004年1月6日 (2004 - 01 - 06) 全文	1-10

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“D” 申请人在国际申请中引证的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“p” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2024年7月4日

国际检索报告邮寄日期

2024年7月30日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

授权官员

孔昕

电话号码 (+86) 010-53961371

PCT/ISA/210 表(第2页) (2022年7月)

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2024/094381

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	116502508	A	2023年7月28日	无			
CN	116070585	A	2023年5月5日	无			
CN	106909751	A	2017年6月30日	无			
CN	114398755	A	2022年4月26日	无			
US	6674856	B1	2004年1月6日	JP	2001177447	A	2001年6月29日