



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110012395 B

(45) 授权公告日 2022. 01. 04

(21) 申请号 201811563588.6
(22) 申请日 2018.12.20
(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110012395 A

(43) 申请公布日 2019.07.12

(30) 优先权数据
15/851,011 2017.12.21 US

(73) 专利权人 哈曼国际工业有限公司
地址 美国康涅狄格州

(72) 发明人 D.J.巴顿 R.H.兰伯特

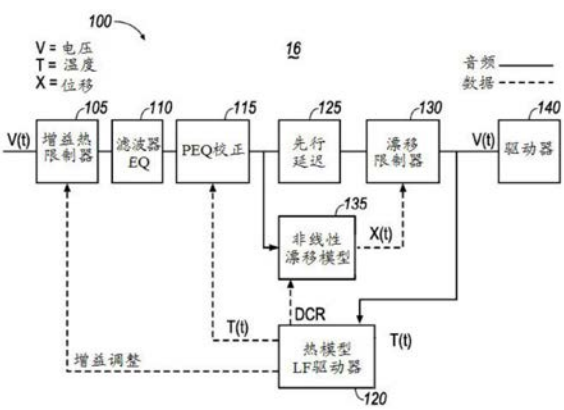
(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所
11105
代理人 高巍

(51) Int.Cl.
H04R 9/02 (2006.01)
H04R 9/06 (2006.01)
H04R 29/00 (2006.01)
审查员 王超群

权利要求书1页 说明书11页 附图19页

(54) 发明名称
扬声器热行为建模的系统和方法

(57) 摘要
本发明涉及鲁棒非线性扬声器建模的约束非线性参数估计,其提供一种用于估计扬声器的音圈温度的热模型系统,其具有频率相关参数以建模所述扬声器的热行为,所述热模型系统可以包括:具有音圈和磁体的扬声器;以及热模型,所述热模型被配置为具有包括所述音圈和所述磁体的多个频率相关热电路,所述多个频率相关热电路确定音圈温度,所述音圈温度用于限制对所述扬声器的输入以防止所述扬声器的热过载。



1. 一种用于估计扬声器的音圈温度的热模型系统,所述热模型系统具有频率相关参数和频率无关参数以建模所述扬声器的热行为,所述热模型系统包括:

热模型,其被配置为具有多个频率相关热电路,所述多个频率相关热电路包括具有音圈和磁体的扬声器并确定所述音圈温度,所述音圈温度用于限制对所述扬声器的输入以防止所述扬声器的热过载,

其中所述热模型被进一步配置为:

基于所述音圈温度来确定所述音圈的阻抗;

至少基于所述阻抗来确定频率相关参数和频率无关参数,以及

基于加热或冷却所述音圈来确定应用所述频率相关参数和频率无关参数中的哪一个,其中在加热所述音圈期间应用所述频率相关参数,并且在冷却所述音圈期间应用所述频率无关参数。

2. 根据权利要求1所述的系统,其中所述热模型被进一步配置为基于温度电路来生成阻抗曲线以估计热功率。

3. 根据权利要求1所述的系统,其中所述阻抗曲线进一步基于热测试信号和频率。

4. 根据权利要求3所述的系统,其中所述热模型被编程为基于所述扬声器的已知电阻和所述音圈的所述阻抗来确定DC电流。

5. 一种用于确定频率相关参数和频率无关参数以建模扬声器的热行为的系统,其包括:

扬声器,其具有音圈和磁体;

热模型,其被配置为

限制对所述扬声器的输入以防止所述扬声器的热过载,所述限制是基于音圈温度和音圈的阻抗,

至少基于所述阻抗来确定所述频率相关参数和所述频率无关参数,以及

基于加热还是冷却所述音圈来确定应用所述频率相关参数和所述频率无关参数中的哪一个,其中在加热所述音圈期间应用所述频率相关参数,并且在冷却所述音圈期间应用所述频率无关参数。

6. 根据权利要求5所述的系统,其中所述热模型被进一步配置为基于温度电路来生成阻抗曲线以估计热功率。

7. 一种用于估计扬声器的音圈温度的方法,所述方法具有建模所述扬声器的热行为的频率相关参数和频率无关参数,所述方法包括:

基于所述音圈温度来限制对所述扬声器的输入以防止所述扬声器的热过载,

至少基于阻抗来生成频率相关参数和频率无关参数,以及

基于加热还是冷却所述音圈来确定应用所述频率相关参数和所述频率无关参数,其中在加热所述音圈期间应用所述频率相关参数,并且在冷却所述音圈期间应用所述频率无关参数。

8. 根据权利要求7所述的方法,其进一步包括基于热模型的温度电路来生成阻抗曲线以估计热功率。

扬声器热行为建模的系统和方法

技术领域

[0001] 本文公开用于具有限制和线性补偿的扬声器实时状态变量预测的系统。

背景技术

[0002] 已经开发出各种方法和系统来使用数字信号处理 (DSP) 保护扬声器。已经开发出各种模型来表征扬声器的非线性。这些非线性的主要来源是力因数 $B_l(x)$ 、刚度 $K_{ms}(x)$ 和电感 $L_e(x)$ 。现有扬声器限制器可以限制峰值或RMS电压,但缺少适当信息,包括完整的热模型和漂移模型。这些扬声器限制器可能在限制方面过于谨慎并且从而阻止扬声器以其所能达到的最大输出运行。

发明内容

[0003] 一种具有频率相关参数以建模扬声器的热行为的用于估计扬声器的音圈温度的热模型系统可以包括:扬声器,其具有音圈和磁体;以及热模型,所述热模型被配置为具有包括音圈和磁体的多个频率相关热电路,所述多个频率相关热电路确定音圈温度,所述音圈温度用于限制对扬声器的输入以防止扬声器的热过载。

[0004] 一种用于确定频率相关参数和频率无关参数以建模扬声器的热行为的系统可以包括:扬声器,其具有音圈和磁体;以及热模型,其被配置为限制对扬声器的输入以防止扬声器的热过载,所述限制是基于音圈温度和音圈的阻抗。

[0005] 一种具有建模扬声器的热行为的频率相关参数的用于估计扬声器的音圈温度的方法可以包括:热模型,其具有包括音圈和磁体的多个频率相关热电路;以及基于音圈温度来限制对扬声器的输入以防止扬声器的热过载。

附图说明

[0006] 在所附权利要求书中特别指出本公开的实施例。然而,通过结合附图参考以下详细描述,各种实施例的其它特征将变得更加显而易见并且将得到最佳理解,在附图中:

[0007] 图1示出了示例扬声器系统;

[0008] 图2示出了用于扬声器状态变量/参数预测的示例系统;

[0009] 图3A示出了用于在非耦合双向系统中进行扬声器状态变量/参数预测的示例系统;

[0010] 图3B示出了用于在包括总增益限制器的耦合双向系统中进行扬声器状态变量/参数预测的示例系统;

[0011] 图4示出了示例热表征系统;

[0012] 图5示出了温度测量电路;

[0013] 图6示出了展示实际测得温度对模型温度的示例图表;

[0014] 图7示出了展示用于喇叭或HF驱动器的作为音圈温度的函数的阻抗的示例图表;

[0015] 图8示出了展示当包括偏移时作为音圈温度的函数的阻抗的示例图表;

- [0016] 图9示出了展示用于闭箱式低音扬声器的作为音圈温度的函数的阻抗的示例图表；
- [0017] 图10示出了用于温度的示例频率相关热时间常数模型；
- [0018] 图11A至图11C示出了通过Klippe1方法测量的针对典型扬声器的一部分非线性参数估计的多项式的示例图形表示；
- [0019] 图12A至图12C示出了扩展到被测范围之外的多项式的示例图形表示；
- [0020] 图13示出了两个高斯内核 (Gaussian Kernal) 和一个现实 $B_1(x)$ 函数的示例图形表示；
- [0021] 图14示出了用于确定 $B_1(x)$ 、 $K_{ms}(x)$ 和 $L_e(x)$ 函数的过程402的示例流程图；
- [0022] 图15示出了展示示例扬声器马达的各种FEA模拟的示例曲线图；
- [0023] 图16示出了用于特定扬声器马达的FEA模拟中的一者的示例曲线图；
- [0024] 图17示出了曲线拟合到目标 $B_1(x)$ 的示例 $B_1(x)$ 的曲线图；
- [0025] 图18示出了基于从静态力生成的渐近线的目标 $K_{ms}(x)$ 的示例曲线图；
- [0026] 图19示出了基于渐近线点测电感值 L_e 的目标 $K_{ms}(x)$ 的示例曲线图；
- [0027] 图20示出了目标 $L_e(x)$ 的示例曲线图；并且
- [0028] 图21A至图21C示出了展示SOA非线性曲线和建模曲线的示例曲线图。

具体实施方式

[0029] 根据需要,本文公开了本发明的详细实施例;然而,应理解,所公开的实施例仅仅是本发明的示例,本发明可以用各种替代形式来体现。附图不一定按比例绘制;一些特征可以被夸大或最小化以展示特定部件的细节。因此,本文所公开的特定结构和功能细节不应被解释为限制性的,而是仅仅作为用于教导本领域的技术人员以各种方式使用本发明的代表性基础。

[0030] 电磁扬声器可以使用磁体来在气隙中产生磁通量。音圈可以放置在气隙中。音圈可以具有圆柱形缠绕的导体。音频放大器电连接到音圈以向音圈提供对应于特定电流的电信号。所述电信号和由磁体产生的磁场致使音圈振荡并且进而驱动膜片来产生声音。

[0031] 然而,扬声器的性能受到限制。通常,随着更多功率被施加到扬声器,音圈会加热并且最终失效。这是由于导体的电阻生成热量。由于音圈的DC电阻 (DCR) 构成了驱动器阻抗的主要部分,所以大部分输入功率被转换成热量而不是声音。因此,随着线圈的温度升高,线圈的DCR将增大。驱动器的功率处置容量受其耐热能力限制。此外,扬声器的电阻和阻抗随着音圈温度升高而增大。这可能导致功率压缩,这是由于音圈的温度升高和DCR引起的预期输出的频率相关损耗。随着DCR增大,系统的线性和非线性行为发生变化。随着更多低频率被施加到驱动器,辨识到更大锥体漂移。扬声器在输出发生极度失真之前具有有限量的漂移能力。为了补偿这些变化,可能必须进行调整。为了施加适当调整,可能必须实时或近实时地准确预测音圈温度和锥体漂移的非线性行为。此类预测可以允许锥体达到安全的最大漂移,并且适当控制过度漂移而不会造成撤消失真。

[0032] 为了获得音圈温度和锥体漂移的非线性行为的准确模型,所述系统包括热建模系统和非线性建模系统两者。所述模型可以实时地准确预测锥体漂移和音圈温度的各种状态变量,以便恰当地施加限制和功率压缩补偿。

[0033] 热操作系统可以准许呈参数均衡形式的线性补偿以基于音圈温度的知识来补偿功率压缩。这确保了频率响应在满足热漂移极限之前不会改变。此时,限制器将致力于保持驱动器处于安全操作区域(SOA)中。

[0034] 非线性建模系统可以使用已经针对对应于安全操作区的范围进行曲线拟合的函数以及在安全操作区之外的特性准确地建模扬声器的动态行为。这个模型创造了更多的约束且稳定的函数以在所有水平下驱动扬声器。

[0035] 图1示出了包括音频源12的示例扬声器系统10,所述音频源12被配置为向放大器14和扬声器18传输音频信号。一个或多个控制器(下文称为“控制器16”)可以与放大器14通信。控制器16可以通常耦接到存储器以用于操作指令来执行本文描述的方程式和方法。一般来说,控制器16被编程为执行如本文提到的各种方法。控制器16可以包括本文描述的模型。控制器16可以基于扬声器的温度和非线性来修改音频信号。扬声器18可以包括一个或多个驱动器,其中包括喇叭驱动器(或高频(HF)驱动器)和/或低音扬声器,以再现音频信号。本文包括和描述的驱动器是示例性的,而不希望是限制性的。可以包括具有各种频率范围的其它驱动器。扬声器18可以包括锥体和音圈。

[0036] 扬声器18可以包括磁体、背板、顶板、极片和音圈。音圈可以包括缠绕在线圈架上的导线,诸如绝缘铜线(即,音圈或线圈)。音圈可以以磁隙为中心。音圈可以被配置为从放大器14接收信号。这个信号可以在音圈内产生电流。磁隙中的磁场可以与载流音圈相互作用,从而生成力。所得力可以致使音圈来回移动并且因而使锥体从其静止位置位移。扬声器锥体的运动使锥体前面的空气移动,从而产生声波,因此声学地再现电信号。

[0037] 扬声器18包括从线圈径向向外延伸从而产生圆锥形或圆顶形形状的扬声器锥体(或膜片)。在音圈附近的锥体的中心可以通过星形物固持在适当位置。星形物和环绕物一起通常仅允许扬声器锥体的轴向运动。在操作期间,并且在电流正被驱动通过线圈时,线圈可以轴向移动,从而造成锥体的移动(即,锥体漂移)。锥体漂移或位移 x 通常是锥体从静止位置移动的距离。从静止位置的距离随供应给线圈的电信号的量值改变而变化。例如,线圈在接收到具有大电压的电子信号后可以即刻致使线圈移出或进一步进入磁隙。当线圈进出磁隙时,锥体可能会从锥体的静止位置移开。因此,大电压可能产生大锥体漂移,这又致使换能器中固有的非线性变得占主导地位。

[0038] 随着锥体的漂移或位移 x 增加,环绕物和星形物可以逐渐变得更硬。由于刚度 K_{ms} 的增加,可能需要更多的力,并且因此需要更大的输入功率来进一步增加锥体的漂移。此外,随着锥体移动进入外壳,盒子内部的空气可以被压缩并且可以充当弹簧,从而增加总刚度 $K_{ms}(x)$ 。因此,扬声器18的位移相关总刚度 $K_{ms}(x)$ 可以包括星形物、环绕物和空气的刚度。

[0039] 额外地或替代地,线圈的电感 L_e 也可能受到电子信号的影响。例如,如果电子信号的正电压太大以致线圈移出磁隙,则线圈的电感 L_e 可能会减小。另一方面,如果电子信号的负电压太大以致线圈移进磁隙,线圈的电感 L_e 可能会增大。音圈的电感 L_e 的变化代表电感的位移相关非线性行为 $L_e(x)$ 。

[0040] 图2示出了用于扬声器参数预测的示例系统100。系统100可以被配置为接收音频信号,预测各种热模型特性并将某些均衡参数应用于音频信号,并且将音频信号供应到驱动器。系统100可以包括增益热限制器105。增益热限制器105可以是配置为应用来自热模型120的增益调整的限制器。热模型120可以确定频率相关热参数以及频率无关热参数,并

且应用此类参数以提高声音质量并保护扬声器免受热过载。下文相对于图4至10更详细地描述热模型120。

[0041] 均衡块110可以经由各种滤波器将均衡参数应用于音频信号。均衡参数可以包括待应用于音频信号的特定频率的各种振幅。参数均衡块115可以应用二阶滤波函数并且调整音频信号的均衡。参数均衡块115可以从热模型120接收温度 T 。

[0042] 系统100可以包括被配置为适应相对于音频信号的某些延迟和计算要求的先行延迟125。漂移限制器130可以从非线性漂移模型135接收位移信号 $X(t)$ 。漂移限制器130可以约束函数,使得所述函数在所有驱动水平下均为稳定的。这些函数可以由非线性漂移模型135定义,这在下文中相对于图11至图21更详细地论述。

[0043] 驱动器140可以从漂移限制器130接收音频信号,并且将电信号转换成声波。驱动器140可以是换能器,诸如中档驱动器、高音扬声器或低音扬声器。驱动器140可以具有特定耐热性,声波的质量在这个耐热性下在热过载期间显著降低或失效。

[0044] 图3A示出了用于在非耦合双向系统中进行扬声器参数预测的示例系统200。在这个示例中,包括多个通道或频带,具体地说,高频通道250和低频通道255。在这个示例中在低频通道255处应用漂移限制器130。

[0045] 系统200可以包括位于高频通道250处的高频热限制器105a和热模型高频120a,以及位于低频通道255处的低频热限制器105b和热模型低频120b。限制器105a、105b中的每一者可以接收音频信号 $V(t)$ 以及来自相应热模型120a、120b的增益调整。如上文相对于图2所解释,热模型驱动器120a、120b可以确定频率相关热参数以及频率无关热参数,并且应用此类参数来提高声音质量并保护扬声器免受热过载。下文相对于图4至图10更详细地描述热模型驱动器120a、120b。

[0046] 高通均衡块110a和低通均衡块110b可以从相应热限制器105a、105b接收音频信号,并且经由各种滤波器将均衡参数应用于音频信号。均衡参数可以包括待应用于音频信号的特定频率的各种振幅。参数均衡块115a、115b可以应用二阶滤波函数并且调整音频信号的 Q 。参数均衡块115a、115b可以从相应热模型120接收温度 T 。

[0047] 系统200可以包括被配置为适应相对于音频信号的某些延迟的先行延迟225。先行延迟225可以从参数均衡块115a、115b接收经过滤波的音频信号。

[0048] 类似于图2,漂移限制器130可以从非线性漂移模型135接收位移信号 $X(t)$ 。漂移限制器130可以约束函数,使得所述函数在所有驱动水平下均为稳定的。这些函数可以由非线性漂移模型135定义,这在下文中相对于图11至图21更详细地论述。在图3A的示例中,漂移限制器130和非线性漂移模型135可以位于低频通道255处。在这个示例中,在参数均衡块115a、115b处的参数均衡和在增益热限制器105a、105b处的限制同时或近同时地执行以避免音频信号 $V_{HF}(t)$ 、 $V_{LF}(t)$ 、 $V_{HF}(t)$ 的振荡。此外,增益热限制器105a、105b可以具有长采样率(例如,0.10秒)的帧速率进行工作。另一方面,漂移限制器130可以具有随样本而变化的速率。因此,增益热限制器105a、105b和漂移限制器130可以具有非常不同的采样率以避免振荡。

[0049] 高频通道250处的高频驱动器140a可以接收高频音频信号 $V_{HF}(t)$ 。低频通道255处的低频驱动器140b可以从漂移限制器130接收低频音频信号 $V_{LF}(t)$ 并且将电信号转换成声波。驱动器140a、140b可以是换能器,诸如中档驱动器、高音扬声器或低音扬声器。

[0050] 图3B示出了用于在耦合双向系统中进行扬声器实时状态变量预测的示例系统300,其中包括总增益限制器305。总增益限制器105a可以类似于增益热限制器105、105a、105b来起作用,但是可以基于无论哪个驱动器首先达到其热极限。通过实施总限制器,系统300可以实现平坦系统响应。也就是说,通过保护最弱的驱动器140,系统300可以维持平坦响应。驱动器块360可以被配置为从热模型120a、120b中的每一者接收温度,并且确定与热模型120相关联的哪个驱动器140接近或可能达到其热极限(例如,耐热性)。驱动器块360可以接着将热参数提供到与那个热模型120相关联的增益限制器305。

[0051] 类似于图3A的系统200,漂移限制器130和非线性漂移模型135可以位于低频通道255处。在这个示例中,参数均衡块115a、115b处的参数均衡和增益热限制器105a、105b处的限制同时或近同时地执行以避免音频信号 $V_{HF}(t)$ 、 $V_{LF}(t)$ 的振荡。如上文解释,另一方面,漂移限制器130可以具有随样本而变化的速率。因此,增益热限制器105a、105b和漂移限制器130可以具有非常不同的采样率以避免振荡。

[0052] 因此,非线性漂移模型135可以向漂移限制器130提供位移信号 $x(t)$,而热模型120可以向参数均衡块提供音圈温度并向增益热限制器105提供增益调整。位移信号 $x(t)$ 可以包括基于扬声器的非线性来生成的函数。频率相关热参数可以用于估计线圈温度以便防止系统100达到其热极限。

[0053] 热模型120可以被配置为从音频信号 $V(t)$ 估计输入功率以及估计频率相关热参数的使用。当扬声器长时间以高音量播放时,扬声器可能会显著加热。扬声器的电阻和阻抗随着音圈温度升高而增大。这可能导致功率压缩,包括高达6分贝的输出损耗。此外,由音圈过热造成的热过载可能会损坏扬声器或致使扬声器无法运作。准确地预测音圈温度可以解决这些问题。功率压缩的补偿和频率响应的调整可以使用线性参数均衡(PEQ)来实现。此外,可以设置温度限制器保护水平,使得不会超过预定最大温度阈值。因此,可以经由功率压缩补偿来提高扬声器的声音质量,并且保护扬声器免受热过载,从而延长其寿命。

[0054] 温度预测的准确度改善至少部分是由于针对音圈和换能器的磁体使用频率相关热参数。可以单独从输入电压确定输入功率的值。通过监测输入功率,系统100可以在频率相关加热模式与频率无关冷却模式之间切换。

[0055] 图4示出了示例热表征系统400。热表征系统400可以用于编程热模型120。热表征系统400可以包括测试信号生成块405。

[0056] 在测试信号生成块405处,测量系统120可以生成测试信号。可以生成测试信号以捕获磁体的时间常数。可以基于音调测试序列和粉红噪声测试序列来生成测试信号。通常,在2小时内生成测试信号以捕获磁体时间常数。

[0057] 热表征系统400可以包括数据采集块410,在该处测量系统120接收各种形式的数据。此类数据可以包括AC电压、DC电压、AC电流和DC电流。这四个数据输出是从图5所示的测量电路获取的。根据这四个输出,可以计算被测扬声器的所有必要热特性,包括音圈温度和DC电阻(DCR)。

[0058] 音圈温度块415可以基于DCR来确定音圈温度。音圈温度可以由温度电路500来确定,如图5所示。

[0059] 图5示出了温度电路500,其可以包括AC电源和DC电源。温度电路500还可以包括第一电感器 L_1 和第二电感器 L_2 ,其防止AC电流流回到DC电源中。电容器 C_1 和 C_2 可以防止DC电流

流回到AC电源中。实际温度可以基于DC电阻来确定,所述DC电阻是基于DC电压和DC电流的测量值来计算的。(AC电流和电压稍后将用于计算作为温度和真实功率的函数的阻抗。

[0060] 温度电路500可以测量四个数据通道以及由麦克风或激光位移测量的近场。因此,可以获取五个通道。通道1可以包括AC电流,其被高通滤波以使高于10Hz的频率通过。通道2可以是DC电流,其是用于温度计算的主要因数。这个电流可以被低通滤波以使低于10Hz的频率通过。通道3可以是DC电压,其被低通滤波以使低于10Hz的频率通过。这个电压通常是恒定的,诸如1V低音扬声器。通道4可以是麦克风压力信号。通道5可以是AC电压,其以10Hz进行高通滤波。此外:

[0061] $DCR = DC\text{电压} / DC\text{电流} = V_DC / C_DC$,其中DCR是测试电路的。

[0062] $R_驱动器 = V_AC\text{ (dc或低通分量)} / C_DC$,其中V_AC是在测试开始时施加刺激之前的AC电压通道。

[0063] 实际温度(n) = $[(V_DC / C_DC(n) - (DCR - R_驱动器) - R_驱动器) * ((1/TCR) / R_驱动器)]$,TCR=音圈导体的电阻率的热系数。

[0064] 其中:

[0065] V_DC是在文件的开头处(此时装置是冷的)测量的通道3-DC电压的平均值,C_DC是在文件的开头处的通道2的平均值。

[0066] 温度电路500测量DC耦合电流信号,并且使用电线的已知电阻和驱动器的测得DC阻抗值来计算模型温度。

[0067] 图6示出了展示实际测得温度(例如,实际温度)对模型温度的示例图表。在这个示例中,针对处于低频的音调脉冲序列(例如,测试信号)随时间标绘音圈的温度。在这个示例中,运行测试持续大约180分钟。实际测得温度与模型温度之间的归一化误差为3.3%。

[0068] 返回到图4,阻抗块420可以确定作为频率和温度和/或电压电平的函数的音圈的阻抗。这可以针对HF驱动器和低音扬声器两者来确定。温度电路500可以确定作为温度的函数的阻抗曲线。这个阻抗曲线允许从 V^2/Z 准确估计热功率(Q),其中Z是从预测温升计算出的阻抗。可以对使用在测试信号生成块405中所生成的测试信号的测试进行处理和分析以创建阻抗曲线。

[0069] 为了确定作为温度的函数的阻抗,将来自上文的实际温度方程式C_DC转换成温度:

[0070] 实际温度(n) = $[(V_DC / C_DC(n) - (DCR - R_驱动器) - R_驱动器) * ((1/TCR) / R_驱动器)]$

[0071] 接下来,可以向V_AC和C_AC应用快速傅立叶变换(FFT)以计算阻抗。FFT可以应用于扫描测试信号。额外地或替代地,可以使用粉红噪声断面代替扫描。测试信号中应有宽带源以便生成阻抗曲线。阻抗曲线可以展示阻抗如何随扬声器的温度以及冷阻抗而变化。冷阻抗可以是当扬声器处于环境室温时在测量开始时的阻抗。

[0072] 对阻抗曲线的FFT的最低频段与DCR值相匹配的确认可以通过将通道3的平均值除以通道2的平均值来实现:

[0073] $DCR = \frac{|V_DC|}{|C_DC|}$

[0074] 图7示出了展示HF驱动器的作为音圈温度的函数的阻抗的示例图表。值得注意的

是,阻抗随着音圈温度升高而相对恒定地增大。因此,HF驱动器的阻抗曲线随温度是相对可预测的。作为温度的函数的阻抗曲线可以准确地被建模为冷阻抗加上基于温度的频率无关偏移。所需要的偏移是通过参考图7所示的作为温度数据的函数的阻抗来找到的。

[0075] 图8示出了展示当包括偏移时作为音圈温度的函数的电感 L_e 的示例图表。通过使用具有简单DC偏置移位的冷阻抗,阻抗与真实估计值紧密对应。

[0076] 图9示出了展示低音扬声器的作为音圈温度的函数的阻抗的示例图表。这个示例中的阻抗很简单,并且因此可以使用曲线图的上部频率区以及谐振区来建模。

[0077] 温度预测模型425可以确定扬声器的频率相关热参数。这可以通过迭代地处理测试信号以找出用于频率相关热建模的最佳参数来实现。在通电时,加热是频率相关的。在不通电时,冷却基本上是频率无关的。因此,温度预测模型425可以针对音圈和磁体生成频率相关的一组第一参数。一旦扬声器加热并关闭,扬声器便可以开始冷却。在冷却期间,参数可以是频率无关的。温度预测模型425还可以生成频率无关的一组第二参数。通过在通电期间使用第一参数并且在断电期间使用第二参数,可以提高热模型准确度。

[0078] 这些参数可以由优化分析块430开发。优化分析块430可以为HF驱动器和低音扬声器两者提供音圈温度的实时或近实时建模。

[0079] 图10示出了用于温度的示例频率相关热时间常数模型。模型可以包括FFT,其被配置为将音频信号 $V(t)$ 划分成各种频带。在一个示例中,音频信号 $V(t)$ 可以被划分成12个频带。在另一个示例中,音频信号 $V(t)$ 可以被划分成24个频带,诸如此类。一旦音频信号 $V(t)$ 被划分成多个频带,RC电路便可以应用于每个频带。在另一个示例中,模型可以包括被配置为将音频信号 $V(t)$ 划分为频带的其它滤波器。

[0080] 如图10所示,模型可以包括第一RC电路、第二RC电路,并且继续到第 n RC电路。对于每个RC电路,可以包括电阻器和电容器,其中针对音圈(g)和磁体(m)中的每一者包括一个电阻器和电容器。这些分量中的每一者的值可以产生温度的频带分量。这些值的总和可以用于产生总温度。如上概述,电阻器和电容器的值由优化分析430确定。

[0081] 对于每个频带,基于 V^2/Z 估计热功率 Q ,其中 V 是那个频带中的输入电压并且 Z 是由模型中所估计的最近温度调整的阻抗曲线值。由于阻抗可以作为频率的函数来移位,所以可以基于移位阻抗来估计功率。因此,可以仅使用传送给扬声器的电压(例如,音频信号 $V(t)$)来预测音圈温度。本文公开的热模型系统和方法消除了对额外传感器的需要。

[0082] 在扬声器的操作期间,载流音圈可以致使扬声器锥体移动并且从锥体的静止位置移开。扬声器锥体的移动可以致使锥体前面的空气移动,从而产生声波。扬声器的高电压电平将展现非线性行为。因此,扬声器锥体从锥体静止位置的大位移可以大幅更改扬声器的机电性质,从而产生非线性音频失真。非线性音频失真可以导致音频质量的恶化。将扬声器驱动到非常大的位移可能会对扬声器造成永久性损坏。扬声器锥体的位移的知识可以用于防止发生非常大的漂移(或位移),因而保持扬声器健康并且提供用于以最大音量播放声音的安全方式。

[0083] 当前扬声器建模(特别是非线性建模)可以使用Klippel方法。这种方法可以创建多项式,所述多项式针对某个范围的锥体位移值(例如,安全操作区域(SOA))被曲线拟合。这种方法使用不同信号激励扬声器,并且通过位移和电流反馈估计“大信号”非线性参数。在这种方法中,可以准确地测量BL(力因数)、 K_{ms} (刚度)和 L_e (线圈的电感)的非线性分量的

形状对位移。然而,在高于那些测试值的位移处,落在SOA之外的这些函数的“尾部”是未知的。不测试这些区域的原因是因为其经常会使扬声器损坏或过热。Klippel方法将4至8阶多项式曲线拟合到被测数据以估计非线性函数。尽管这对于比较设计或使用建模来估计在被测边界内的失真非常有效,但是其在这些边界之外失去准确度并且对过度驱动条件的准确建模变得非常不准确且不稳定。也就是说,在SOA之外,多项式可能具有不准确的性质并且导致错误建模。此类错误可能会造成不稳定的模型,其在过度驱动时可能会“爆破”。这对于使用限制器建模系统很重要,因为模型的性质经常被过度驱动。

[0084] 本文公开了一种非线性漂移模型135,其被配置为定义并约束各种函数以便在所有驱动水平(甚至是扬声器的SOA之外的那些驱动水平)处稳定所述模型。非线性漂移模型135可以向漂移限制器130提供位移信号。

[0085] 返回参看图2至图3,非线性漂移模型135可以包括被配置为实行本文描述的过程和方法的处理器。在一个示例中,处理器可以是图1的控制器16。在其它示例中,非线性漂移模型135可以包括或使用专用于开发位移信号 $x(t)$ 的特殊处理器。

[0086] 扬声器的动态非线性行为可以基于以下微分方程式来计算。

[0087] 用于扬声器的“电压”集总元件方程式可以被定义为:

$$[0088] \quad U = R_e i + \frac{d(L_e(x)i)}{dx} + BL(x)x'$$

[0089] “力”集总元件方程式可以被定义为:

$$[0090] \quad BL(x)i = Mms x'' + Rms x' - \frac{i^2 dL_e(x)}{2 dx} + K_{ms}(x)x$$

[0091] 用于电流和位移的近似离散时间方程式可以从这两个标准集总元件方程式导出实施:

$$[0092] \quad i(n) = \left(U(n) - BL(x)x' - x' \frac{dL_e(x)}{dx} i(n-1) + \frac{L_e(x)}{dt} i(n-1) \right) / \left(R_e + \frac{L_e(x)}{dt} \right) \text{ 电流}$$

$$[0093] \quad x(n+1) = \frac{\left(BL(x)i - Rms x' - x(n)K_{ms}(x) + \frac{i^2 dL_e(x)}{2 dx} \right)}{Mms dt^2} + 2x(n) - x(n-1) \text{ 位移}$$

[0094] 此处, $BL(x)$ 、 $K_{ms}(x)$ 、 $L_e(x)$ 、 $\frac{dL_e(x)}{dx}$ 是 x 的非线性函数,通常被建模为多项式函数。

[0095] 标准多项式方程式可以被表示为:

$$[0096] \quad f(x) = p_1 x + p_2 x^2 + \dots + p_N x^N$$

[0097] $BL(x)$ 或力因数函数、 $K_{ms}(x)$ 或刚度函数以及 $L_e(x)$ 或电感函数的参数是非线性函数,其可以规定“大信号”行为。如从上文可以看出,为了预测锥体位移,所述函数必须能够易于微分并且转换为离散时间函数。

[0098] 如上文解释,Klippel方法将4至8阶多项式曲线拟合到被测数据以估计非线性函数。尽管这对于比较设计或使用建模来估计被测边界(称为安全操作区域(SOA))内的失真非常有效,但是这些曲线拟合在这些边界之外失去准确度并且过度驱动条件的准确建模变得非常不准确且不稳定。

[0099] 图11A至图11C是通过Klippel方法测量的针对典型扬声器的一部分非线性参数估计的多项式的示例图形表示。具体来说,图11A示出了 $BL(x)$ 因数的示例图形表示。图11B示

出了 $K_{ms}(x)$ 因数的示例图形表示。图11C示出了 $L_e(x)$ 因数的示例图形表示。

[0100] 这些曲线图展示基于SOA中的最大被测位移来曲线拟合的多项式的截面。如果图11A所示的BL曲线延伸超出有用范围和SOA,则曲线将变为负值。负BL没有物理可能性,并且揭示了传统经由多项式建模BL的缺陷。

[0101] 图12A至图12C示出了扩展超出被测范围的多项式的示例图形表示。具体来说,图12A示出了基于Klippel方法来建模的BL(x)函数的示例图形表示。如图所示,力因数BL在测试范围之外很快变为负值。真实扬声器的真正力因数BL不会以这种方式表现。图12B示出了示例 $K_{ms}(x)$ 函数。刚度 K_{ms} 被展示为在高振幅处减小,但实际上,刚度 K_{ms} 永远不会是负的。图12C示出了示例 $L_e(x)$ 函数。电感 L_e 被展示为在末端处显著跳跃,对于真实扬声器来说不会是这样的。如图所示,这些函数在SOA之外的行为不切实际,尤其是BL(x)函数。由于这种不切实际的建模,系统将不稳定并且在函数通过零时“爆破”。任何大的或快速变化的电感值也可能致使模型不稳定。

[0102] 代替上文提到的行为,这些函数应单调渐近。BL(x)函数应渐近到零并且永远不变成负值。 $K_{ms}(x)$ 函数应渐近到无穷大,或者当悬架撕裂时,至少应渐近固定值。 $L_e(x)$ 函数应渐近到电感的固定值,所述值相当于线圈在向外方向上在自由空气中以及线圈在向内方向上在间隙底部处的电感。

[0103] 对于BL(x)函数,一般指数或高斯混合模型方程式可以适合于具有多组高斯拟合参数(以三个为一组)的M个内核。对于标度,可以使用 Σ 和平均值。这种方程式可以由下式表示:

$$[0104] \quad f(x) = \sum_{i=1}^M p_{1,i} e^{\frac{-(x-p_{3,i})^2}{2p_{2,i}^2}}$$

[0105] 其中

[0106] $p_{1,i}$ = 标度

[0107] $p_{2,i}$ = Σ (宽度)

[0108] $p_{3,i}$ = 平均值 (偏移)

[0109] 使用6个参数 $[p_{1,1}, p_{2,1}, p_{3,1}, p_{1,2}, p_{2,2}, p_{3,2}]$ 和两个高斯函数的示例高斯混合模型:

[0110] $f(x)$ = 内核₁ + 内核₂

$$[0111] \quad \text{内核1} = p_{1,1} e^{\frac{-(x-p_{3,1})^2}{2p_{2,1}^2}}$$

$$[0112] \quad \text{内核2} = p_{1,2} e^{\frac{-(x-p_{3,2})^2}{2p_{2,2}^2}}$$

$$[0113] \quad f(x) = p_{1,1} e^{\frac{-(x-p_{3,1})^2}{2p_{2,1}^2}} + p_{1,2} e^{\frac{-(x-p_{3,2})^2}{2p_{2,2}^2}}$$

[0114] 图13示出了两个高斯内核和一个现实BL(x)函数的示例图形表示。

[0115] 图14示出了用于确定BL(x)、 $K_{ms}(x)$ 和 $L_e(x)$ 函数的过程402的示例流程图。这些函数通常源自Klippel方法,所述方法在SOA内建立非线性并且基于其它数据来创建目标函数(即,SOA非线性曲线),以将Klippel测量值曲线化并外推为适当函数。也就是说,所述函数

遵照曲线的已知区域中的数据以生成在SOA之外的未知区。这些函数可以使用自然渐近线来适当地约束。

[0116] 过程402在框404处开始,其中控制器16使用Klippel方法确定扬声器非线性。这些扬声器非线性可以形成SOA非线性曲线。

[0117] 过程402可以确定用于 $BL(x)$ 、 $K_{ms}(x)$ 和 $L_e(x)$ 中的每一者的函数。框408至414可以针对于生成 $BL(x)$ 函数,框416至422可以针对于生成 $K_{ms}(x)$ 函数,并且框424至428可以针对于生成 $L_e(x)$ 函数。

[0118] 相对于 $BL(x)$ 函数,在框408处,控制器16的设计者可以执行马达分析。马达分析可以包括扬声器马达的有限元分析(FEA)。FEA可以基于马达的已知特性。在另一个示例中,马达分析可以包括在马达内部和外部的通量密度的点测量。

[0119] 图15示出了展示示例扬声器马达的各种FEA模拟的示例曲线图。

[0120] 图16示出了用于特定扬声器马达的FEA模拟中的一者的示例曲线图。这个曲线图示出了模拟的典型尾部,所述模拟是基于马达的通量分布和线圈拓扑来提供的。在这些示例中,所述模拟模仿指数高斯函数并且可以作为用于创建 $BL(x)$ 函数的指南。

[0121] 返回到图14,在框412处,可以向控制器16加载基于马达分析和SOA非线性曲线的目标 $BL(x)$ 函数。目标 $BL(x)$ 函数可以是尾部特性由马达分析生成的SOA非线性曲线。尾部特性可以被添加为与SOA非线性曲线的末端相切。尾部特性可以示出目标 $BL(x)$ 函数在SOA之外的可能行为。

[0122] 在框414处,可以通过将指数函数(诸如内核高斯函数)曲线拟合到目标 $BL(x)$ 函数(例如,SOA非线性曲线和通过马达分析产生的尾部特性)来向控制器16加载 $BL(x)$ 。

[0123] 图17示出了曲线拟合到目标 $BL(x)$ 的示例 $BL(x)$ 的曲线图。如图所示,指数函数模仿目标 $BL(x)$ 函数,包括在SOA之外的尾部。

[0124] 相对于 $K_{ms}(x)$,在框416处,控制器16的设计者可以确定在向前和向后两个方向上使扬声器锥体静态位移直到锥体无法在不破裂的情况下进一步位移为止所需的静态力。这个最大强制位移可以指示用于生成 $K_{ms}(x)$ 的渐近线。

[0125] 在框418处,可以向控制器16加载基于SOA非线性和静态力的目标 $K_{ms}(x)$ 函数。目标 $K_{ms}(x)$ 函数可以通过使用由静态力创建的渐近线来生成以生成指数曲线。电感 L_e 可以由来自框415的马达分析的通量密度的点测量来获取。

[0126] 图18示出了基于从静态力生成的渐近线的目标 $K_{ms}(x)$ 函数的示例曲线图。目标 $K_{ms}(x)$ 的顶点可以大体上与SOA非线性曲线对齐。目标 $K_{ms}(x)$ 函数的尾部可以基于渐近线来形成,如图18所示。如图所示,SOA非线性曲线的尾部朝向零减小,这在真实扬声器的情况下不会发生。为了形成准确目标 $K_{ms}(x)$ 函数,渐近线可以用于将目标 $K_{ms}(x)$ 函数建模为非零尾值。

[0127] 如图18所示,渐近线可以形成顶点并且创建预定义角度 θ 。尽管 θ 被示出为对称的,但是还可以使用其它非对称 θ 。如果悬架将硬限制,则 θ 可以接近零,并且渐近线可以是垂直的。不管怎样,只要多项式受渐近线约束,多项式就可以是恰当函数。

[0128] 返回到图14,在框422处,控制器16可以通过将指数函数曲线拟合到目标 $K_{ms}(x)$ 函数(例如,SOA非线性曲线和由静态力或电感中的一者或两者创建的尾部特性)来生成 $K_{ms}(x)$ 函数。

[0129] 不同于BL(x)函数和 $K_{ms}(x)$ 函数, $L_e(x)$ 函数可以使用四参数广义s型函数模型来生成:

$$[0130] \quad f(x) = p_2 + \frac{p_1}{(1 + e^{-p_4(x-p_3)}) + p_1}$$

[0131] 在框424处,可以向控制器16加载静态电感值 L_e 。

[0132] 在框426处,可以向控制器16加载在SOA之外的基于静态电感 L_e 的目标 $L_e(x)$ 函数。

[0133] 图19示出了基于以点测电感值 L_e 为基础的渐近线的目标 $L_e(x)$ 函数的示例曲线图。电感 L_e 可以在向外方向上设置限制以建立目标 $L_e(x)$ 函数。如图19所示,目标 $L_e(x)$ 函数在外边缘处与电感值 L_e 对齐并且在SOA内与SOA非线性曲线对齐。

[0134] 图20示出了目标 $L_e(x)$ 函数的示例曲线图。如图所示,目标 $L_e(x)$ 函数可以模仿s型函数。

[0135] 返回到图14,在框428处,可以通过将s型函数曲线拟合到目标 $L_e(x)$ 函数来生成 $L_e(x)$ 。

[0136] 过程402接着结束。

[0137] 尽管图14集中于扬声器的上述三个非线性,但是这些不应被认为是所述想法的仅有可能应用。本文解释的基本非线性参数估计过程能够并且应用于任何扬声器非线性。

[0138] 图21A至图21C示出了展示SOA非线性曲线和建模曲线(例如,非线性函数BL(x)、 $K_{ms}(x)$ 和 $L_e(x)$)的示例曲线图。图21A示出了示例BL(x),图21B示出了示例 $K_{ms}(x)$,并且图21C示出了示例 $L_e(x)$ 。如图所示,鉴于在SOA之外的现实行为,建模曲线示出了更现实的函数并且与实际经验一致。

[0139] 本文描述的计算装置通常包括计算机可执行指令,其中所述指令可以由一个或多个计算或硬件装置(诸如上文列出的那些)执行。计算机可执行指令可以从使用多种编程语言和/或技术创建的计算机程序编译或解释,这些编程语言和/或技术单独地或组合地包括但不限于Java™、C、C++、Visual Basic、Java Script、Perl等。一般来说,处理器(例如,微处理器)接收指令,例如从存储器、计算机可读介质等接收,并且执行这些指令,从而执行一个或多个过程,包括本文描述的一个或多个过程。此类指令和其它数据可以使用多种计算机可读介质来存储和传输。

[0140] 尽管上文描述了示例性实施例,但是不希望这些实施例描述本发明的所有可能形式。相反,本说明书中所使用的词语是描述性而非限制性的词语,并且应理解,可以在不脱离本发明的精神和范围的情况下做出各种改变。另外,各种实施的实施例的特征可以被组合以形成本发明的另外实施例。

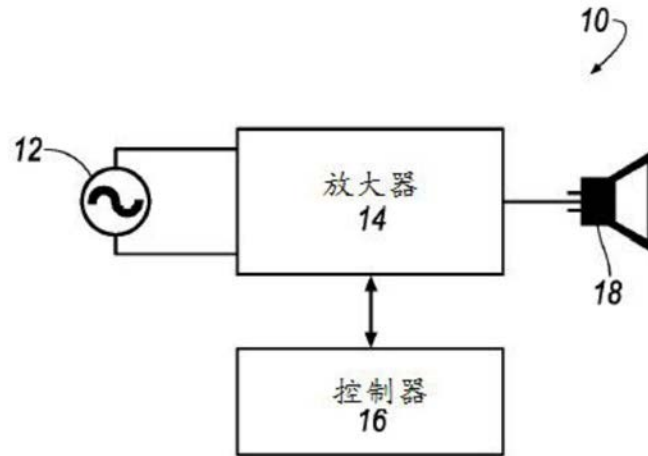


图1

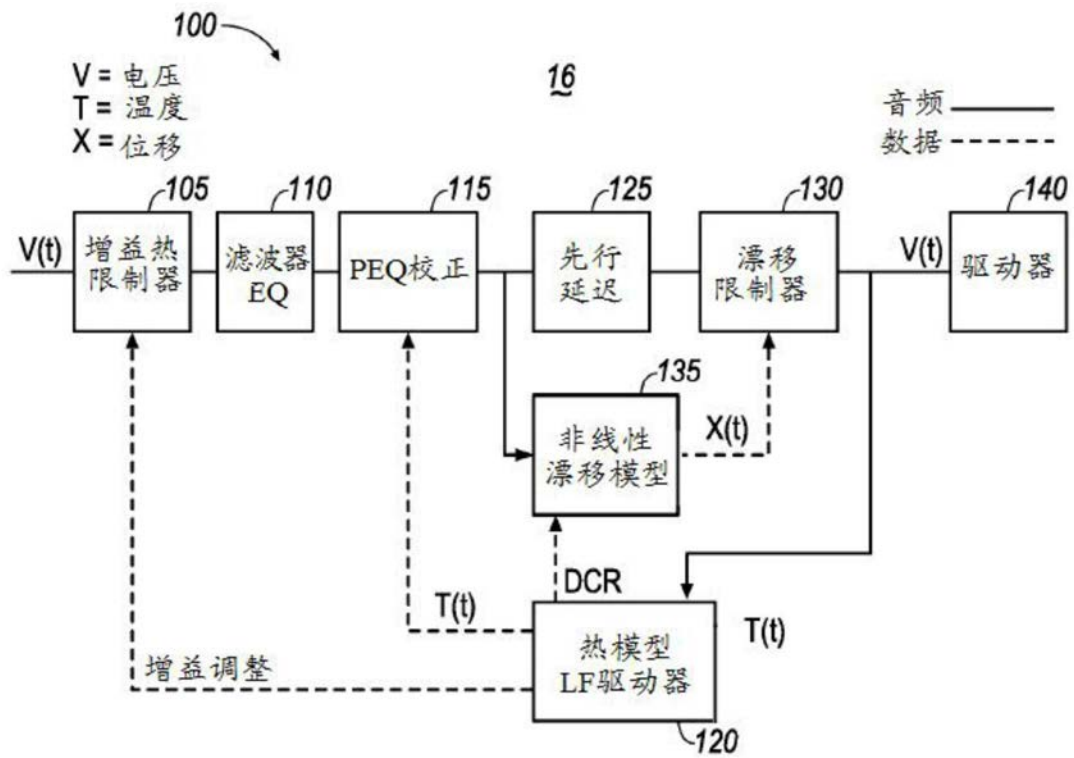


图2

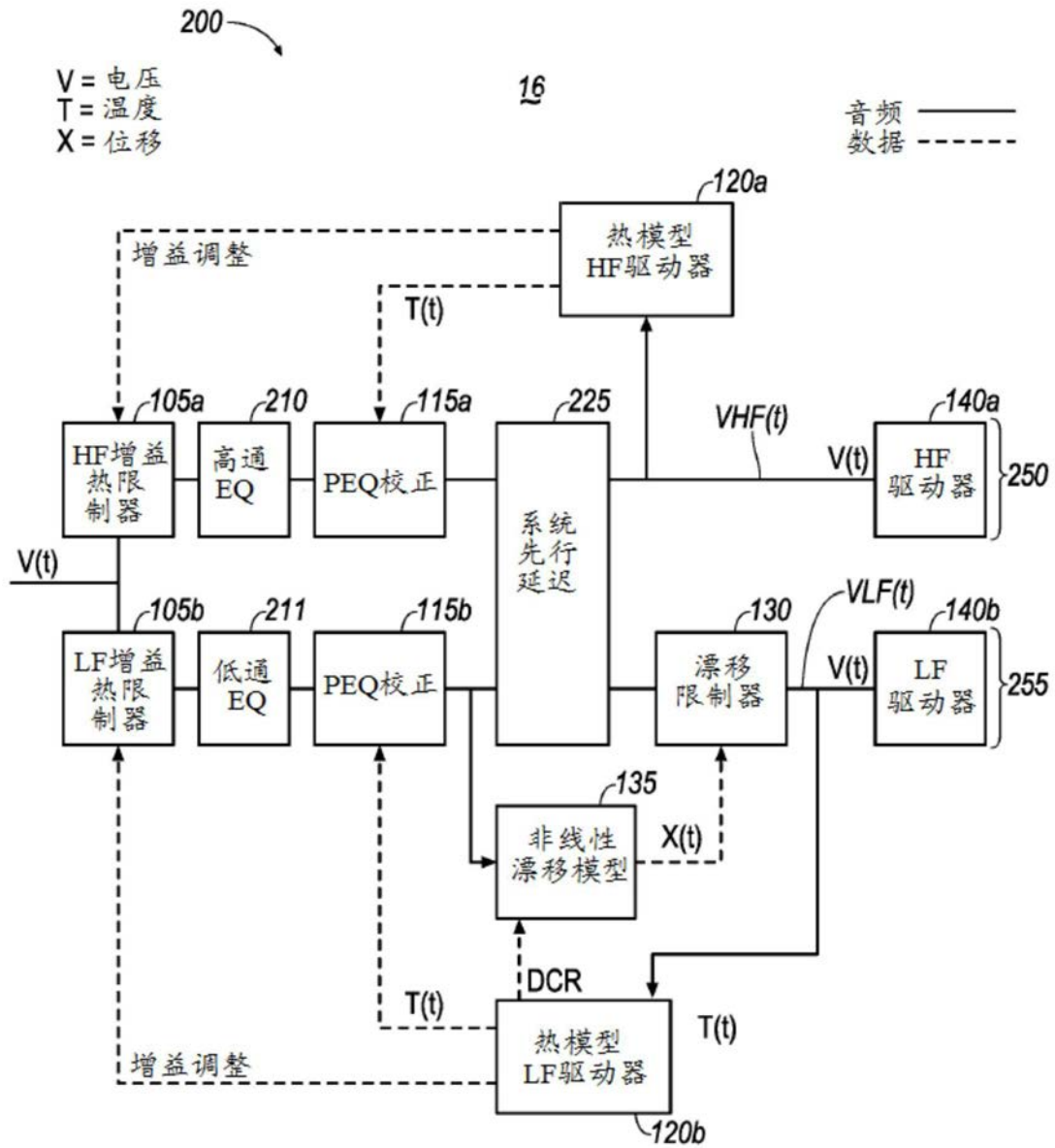


图3A

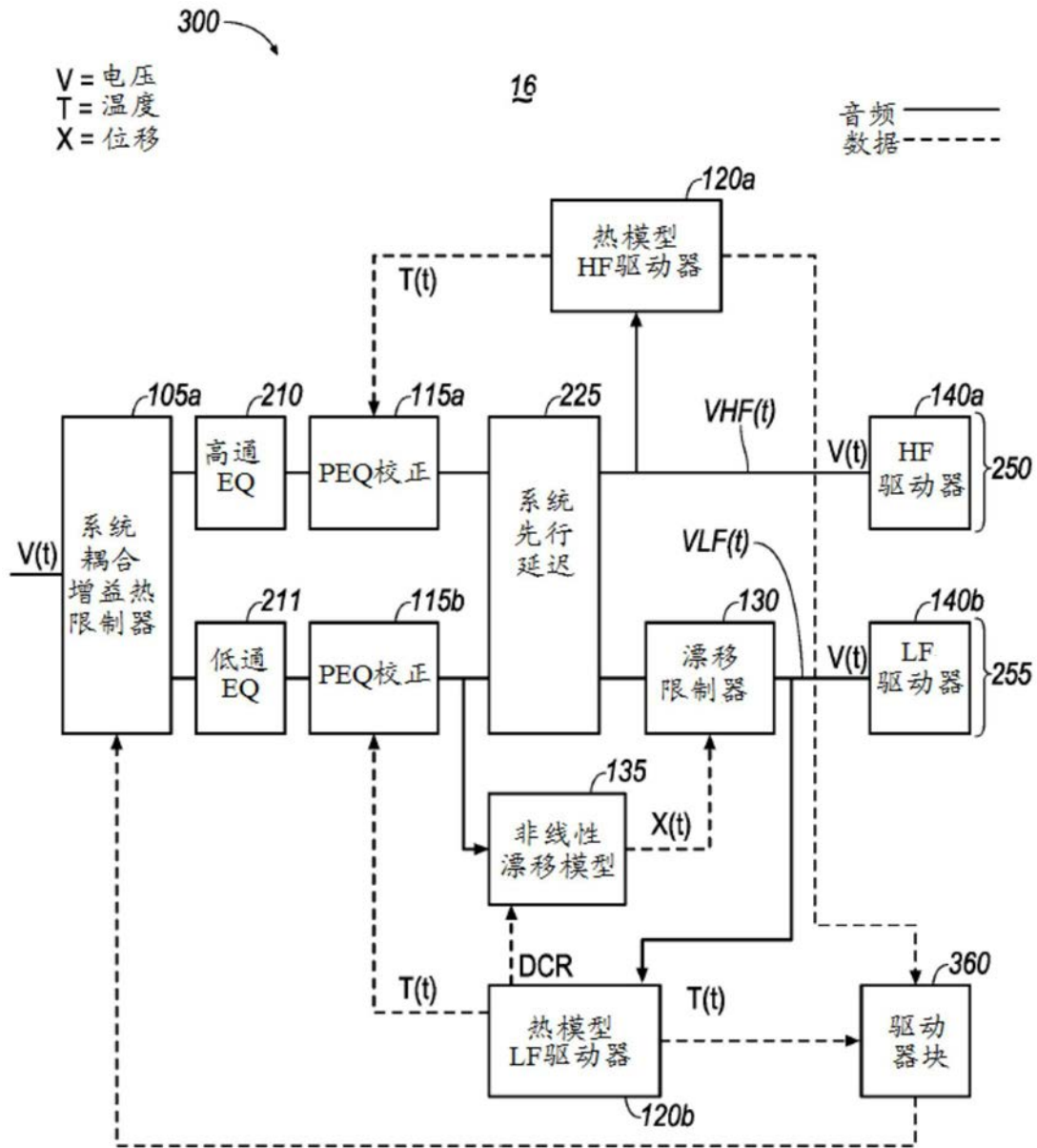


图3B

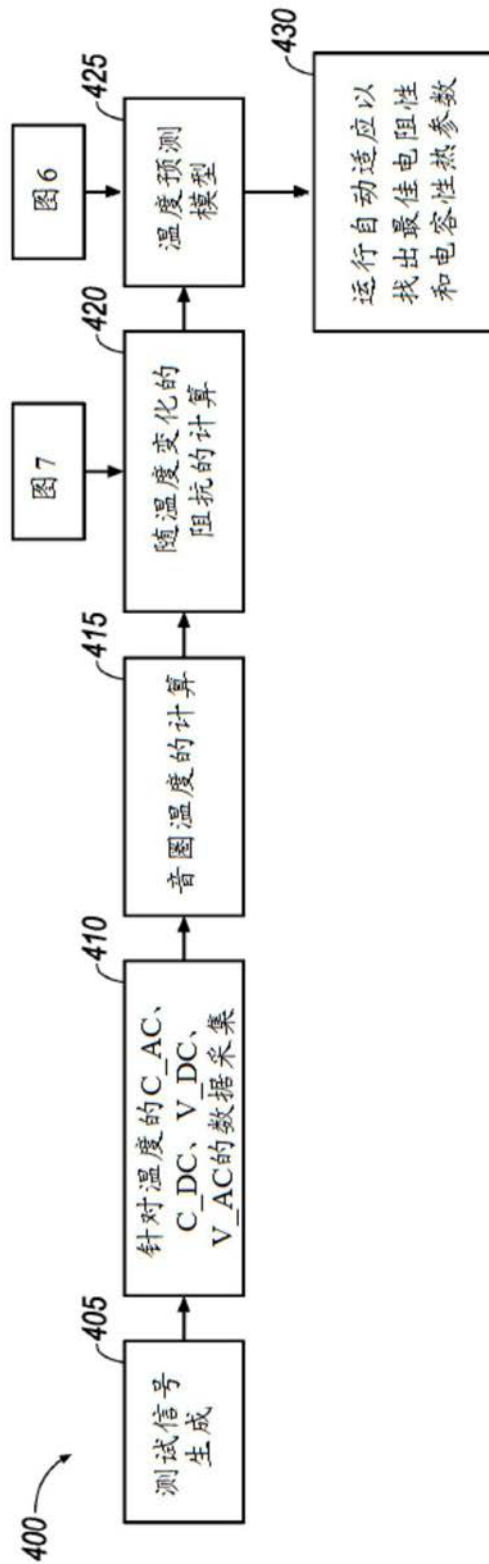


图4

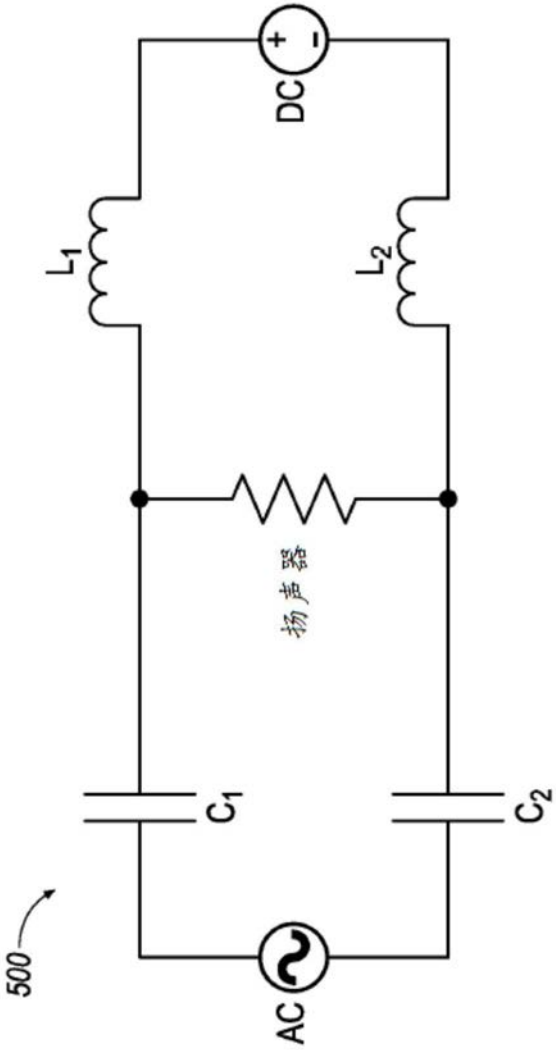


图5

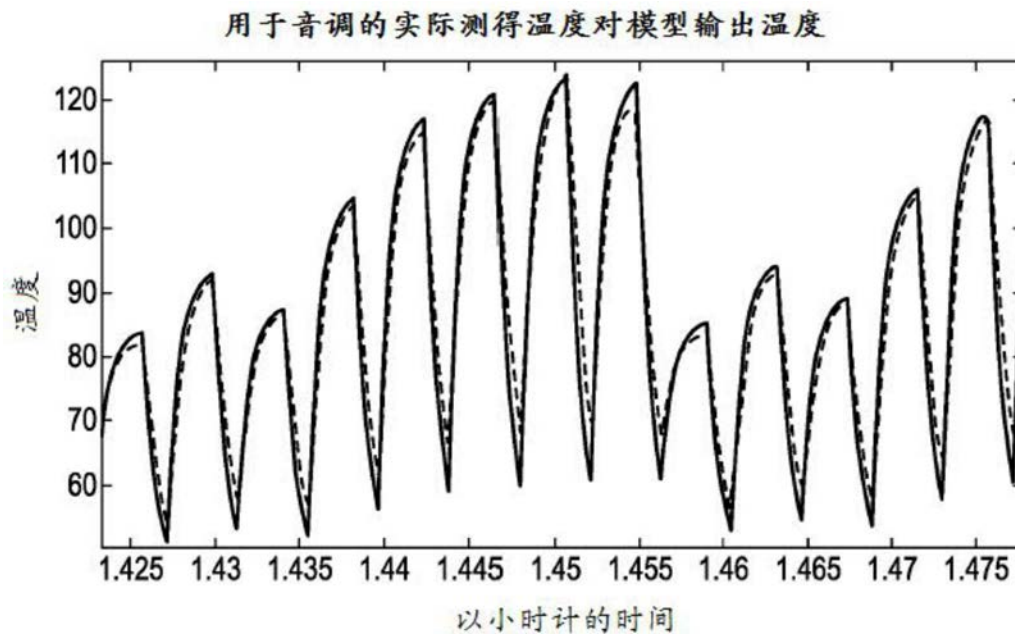


图6

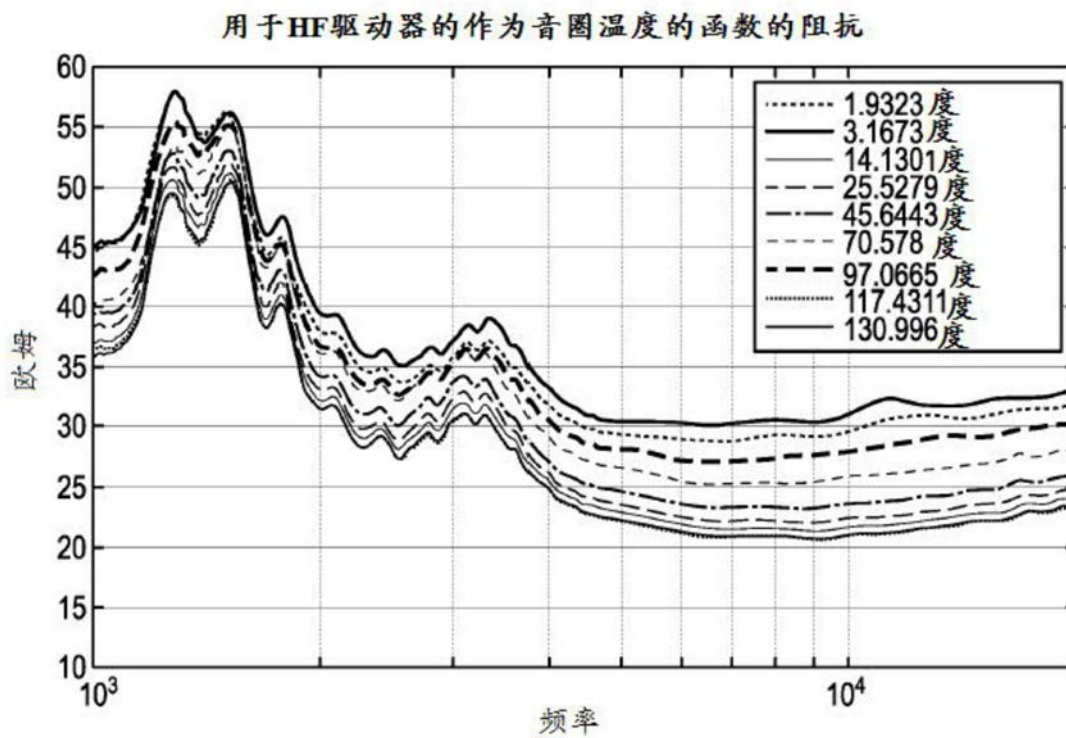


图7

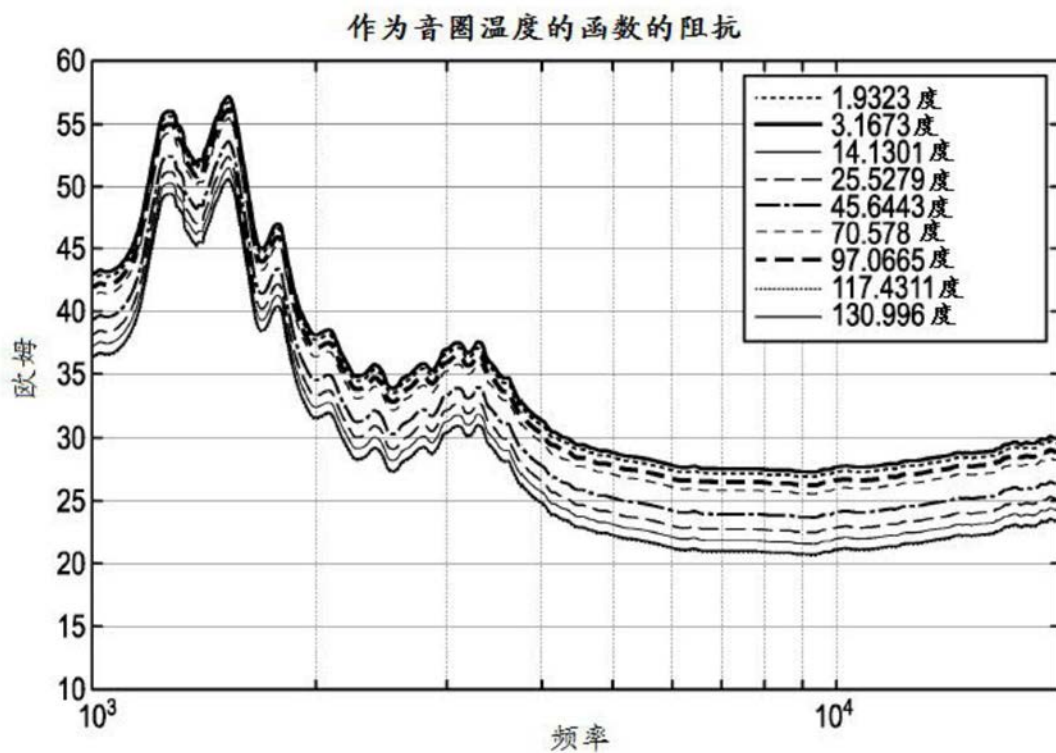


图8

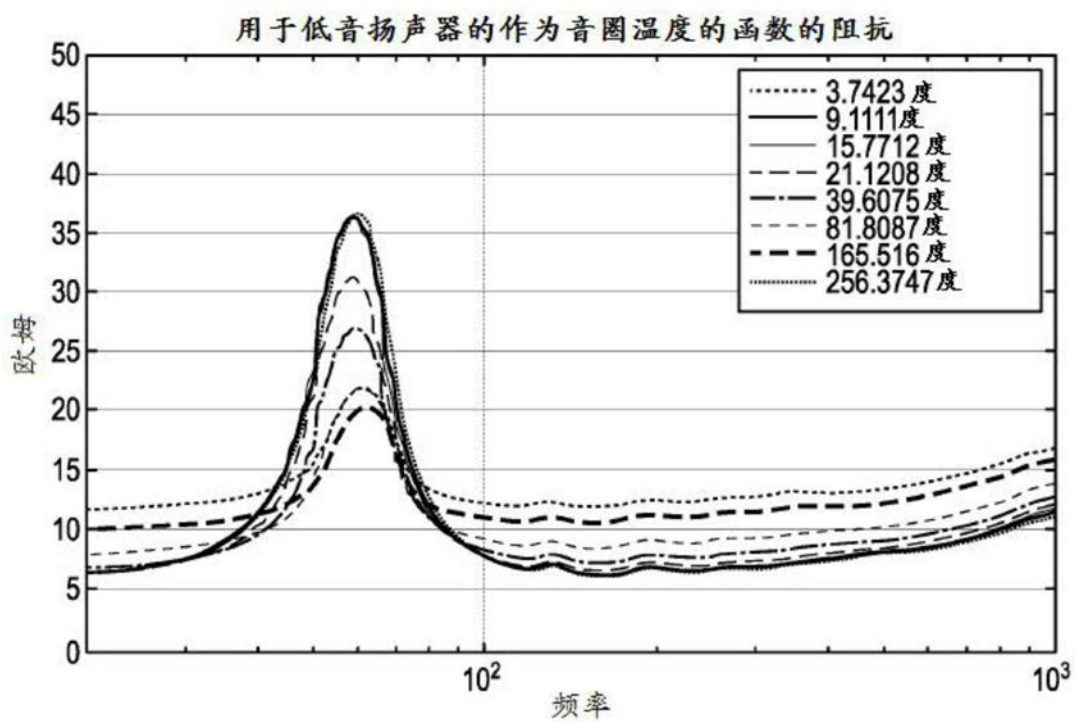


图9

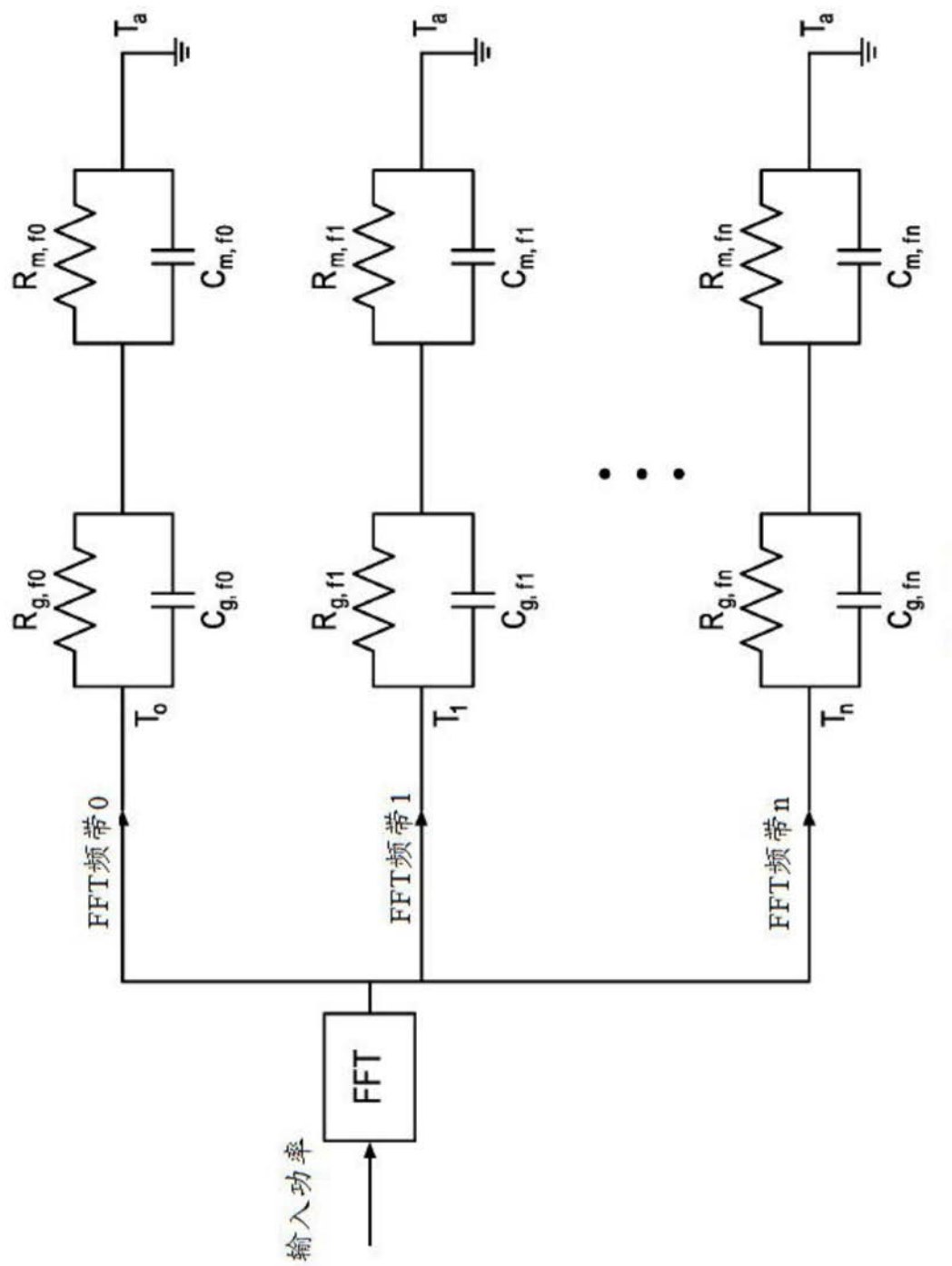


图10

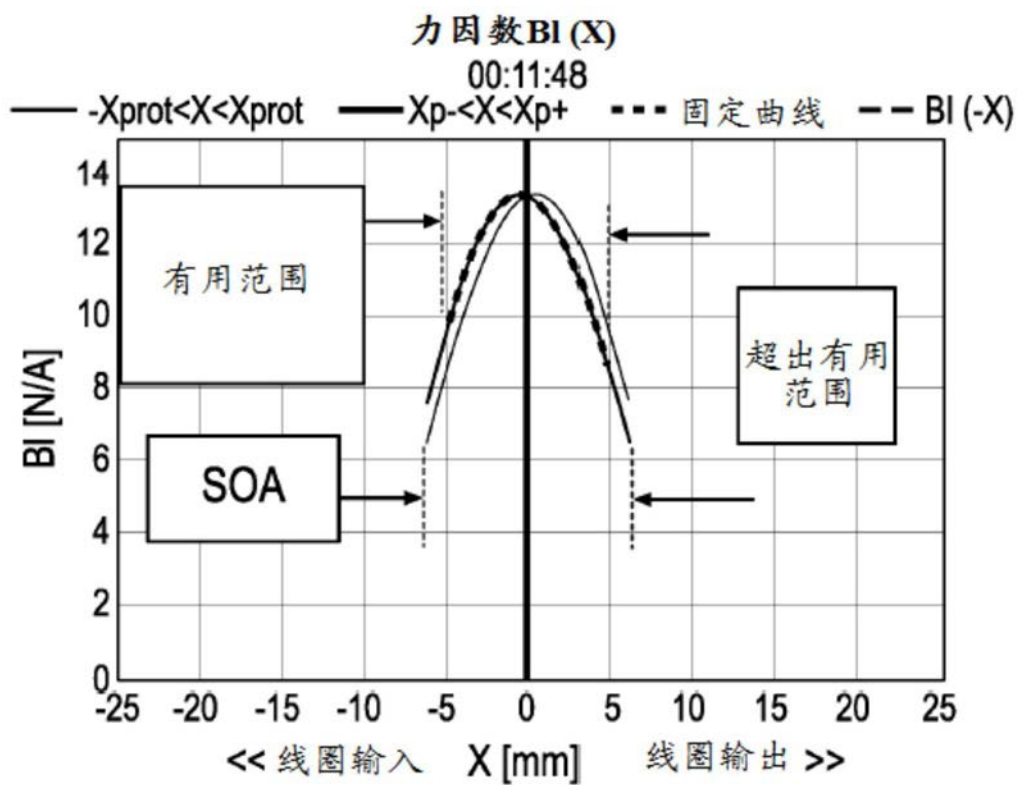


图11A

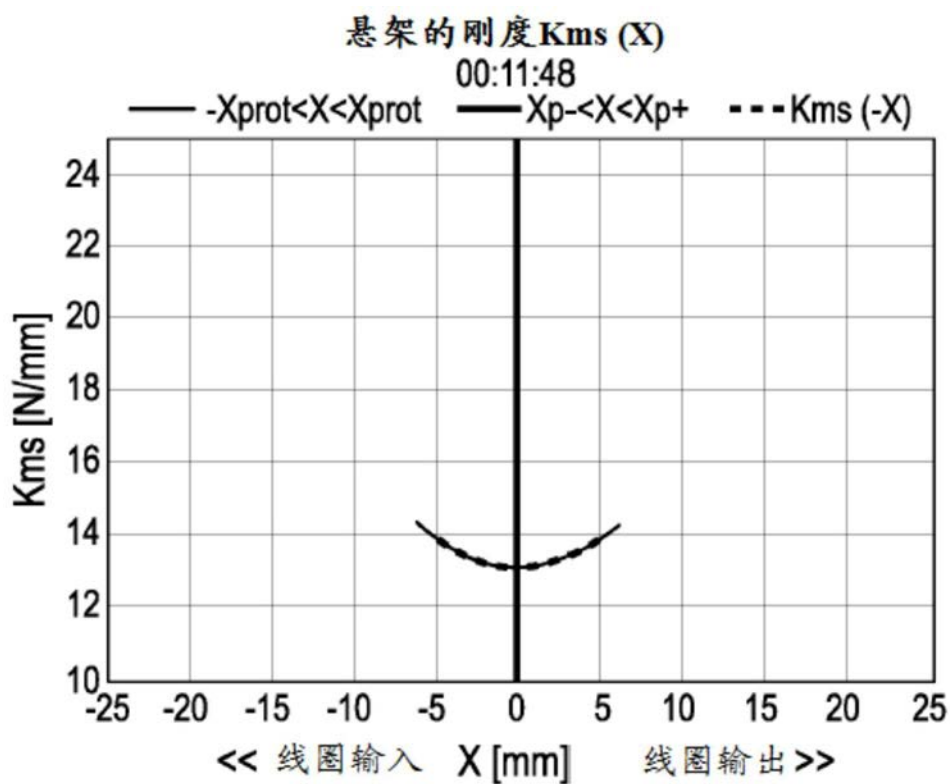


图11B

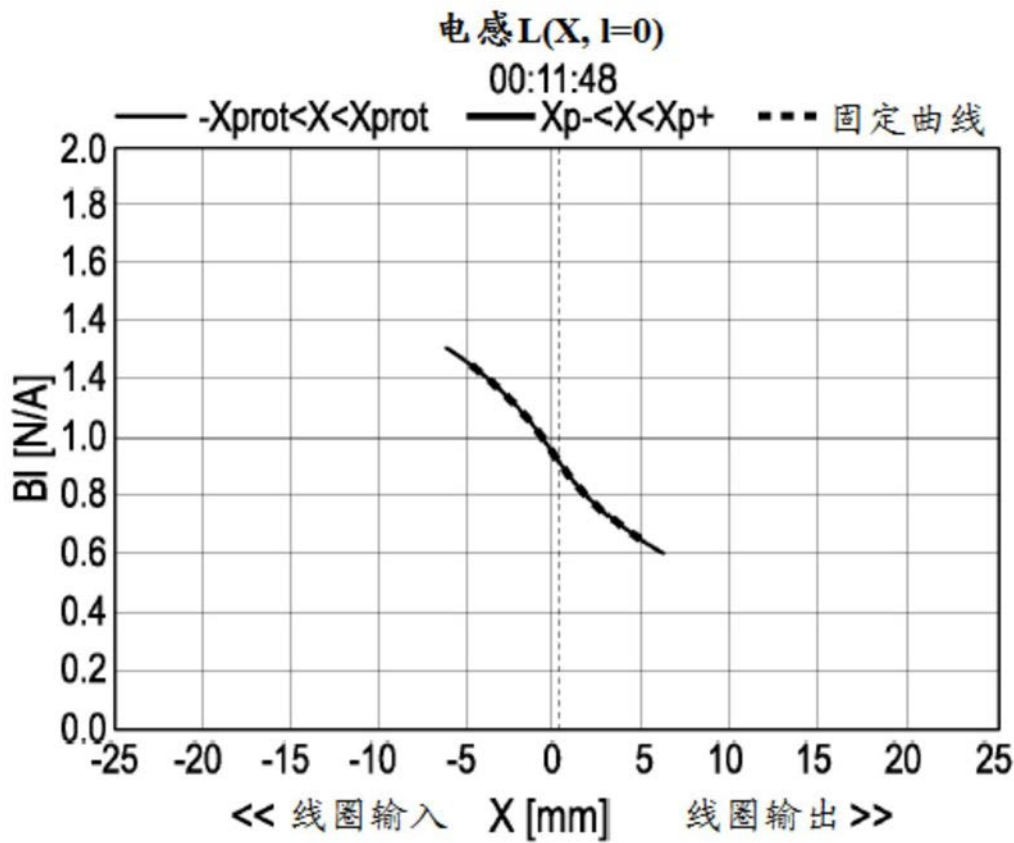


图11C

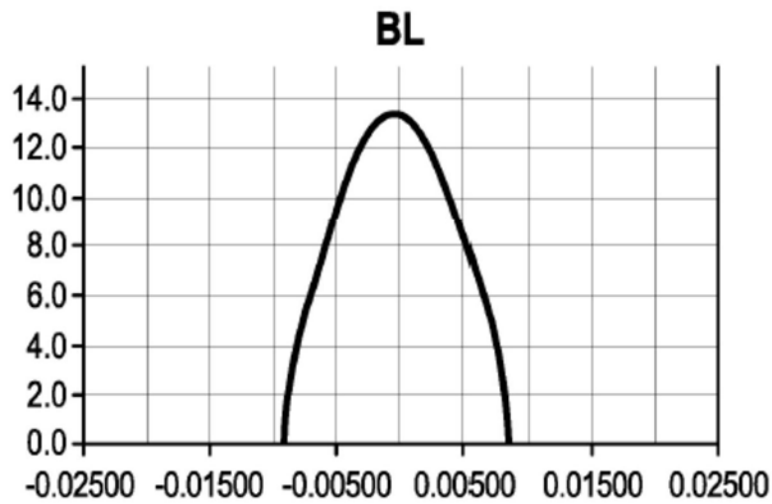


图12A

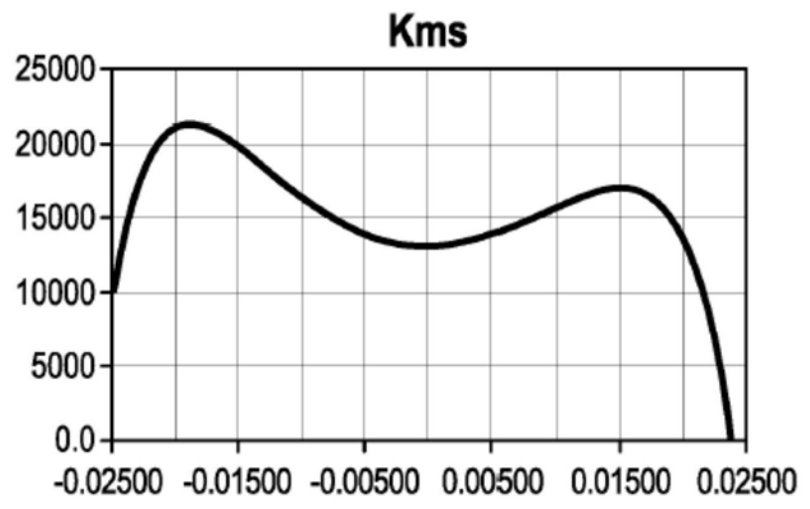


图12B

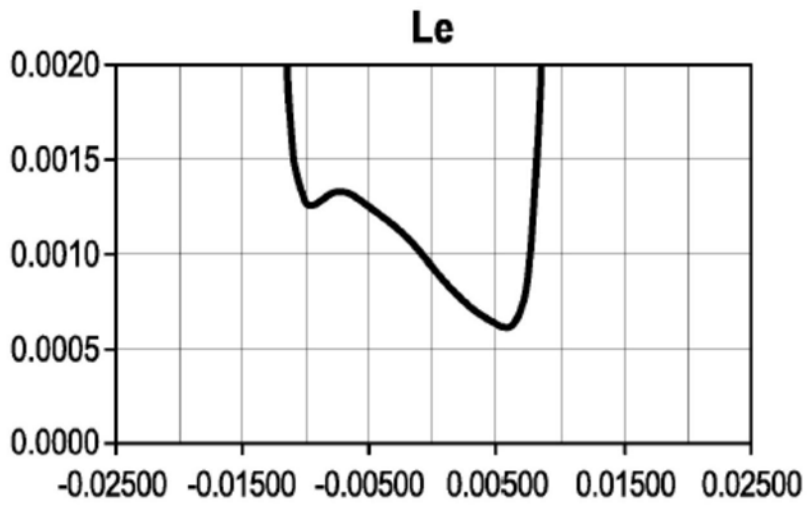


图12C

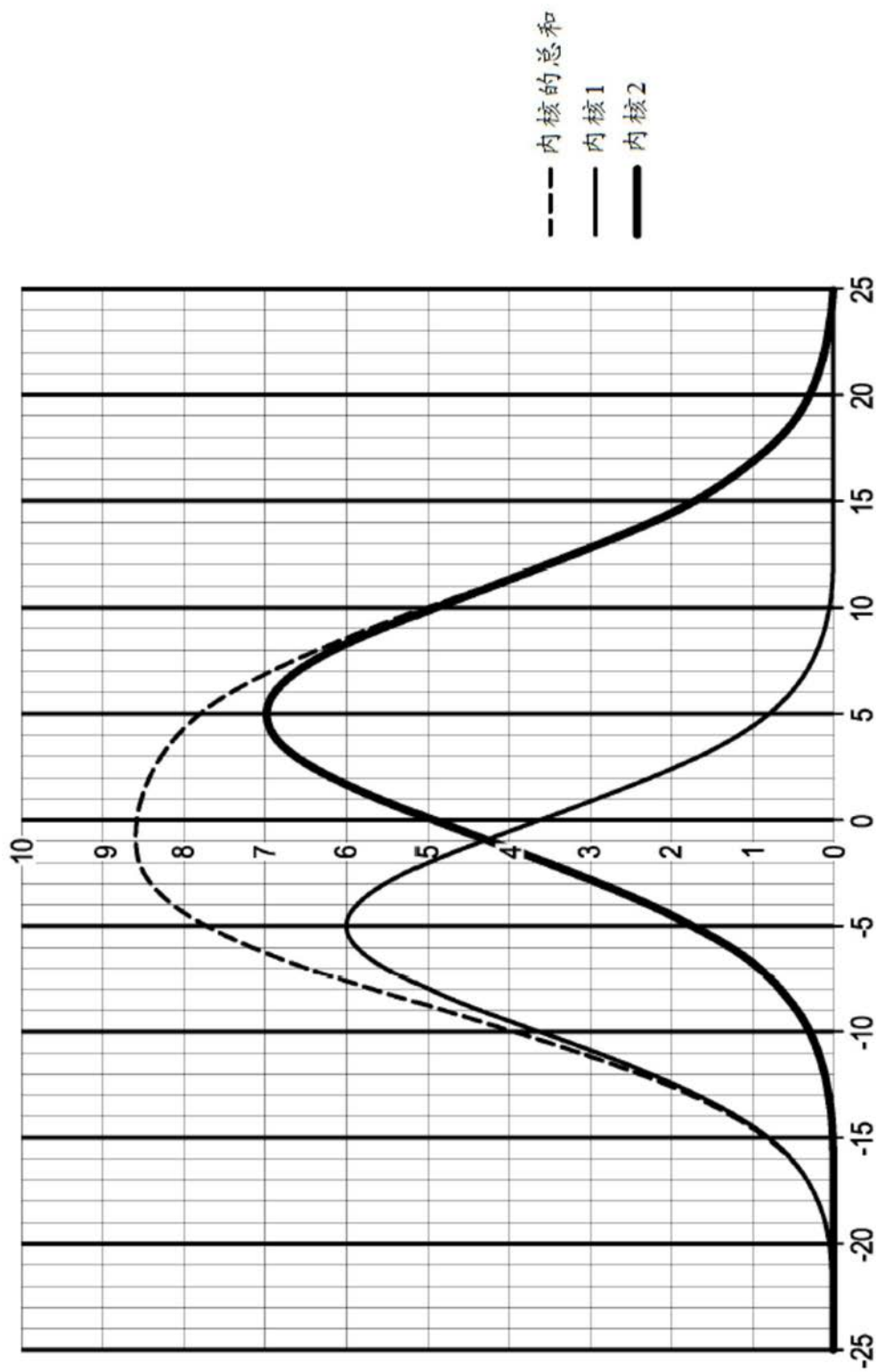


图13

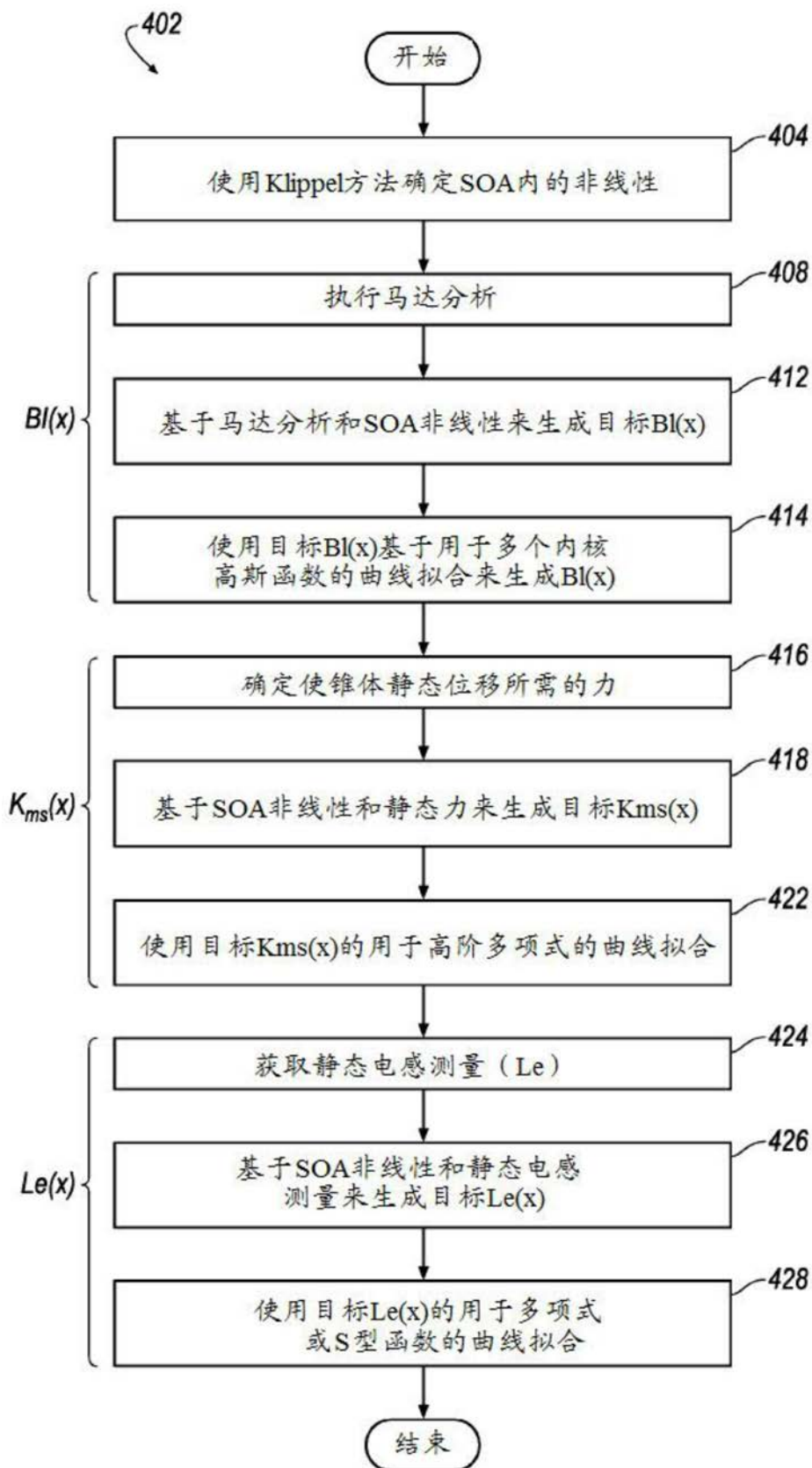


图14

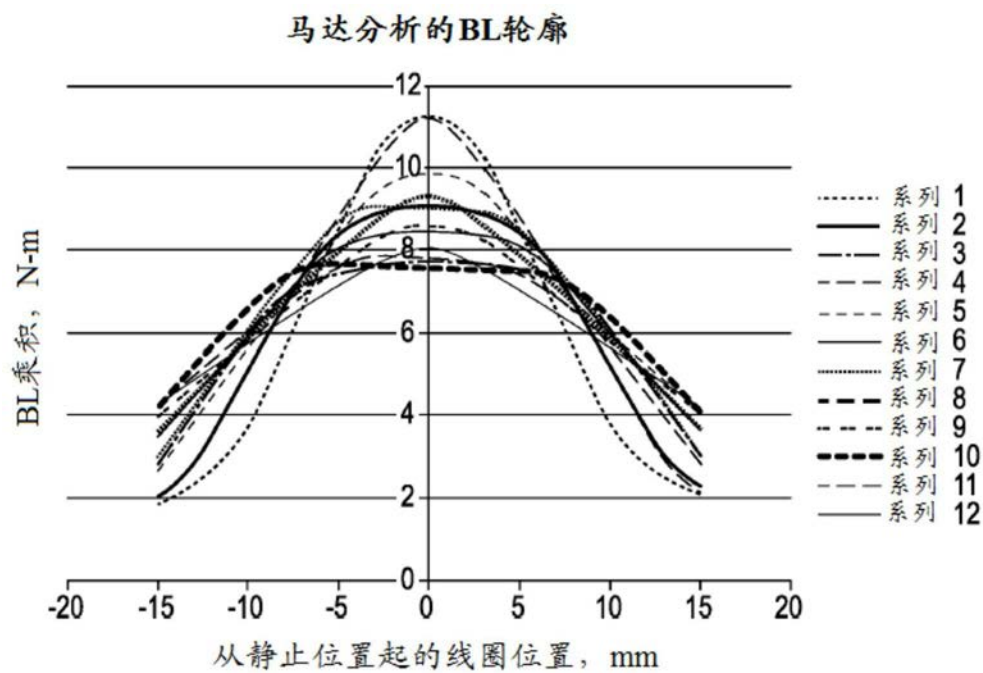


图15

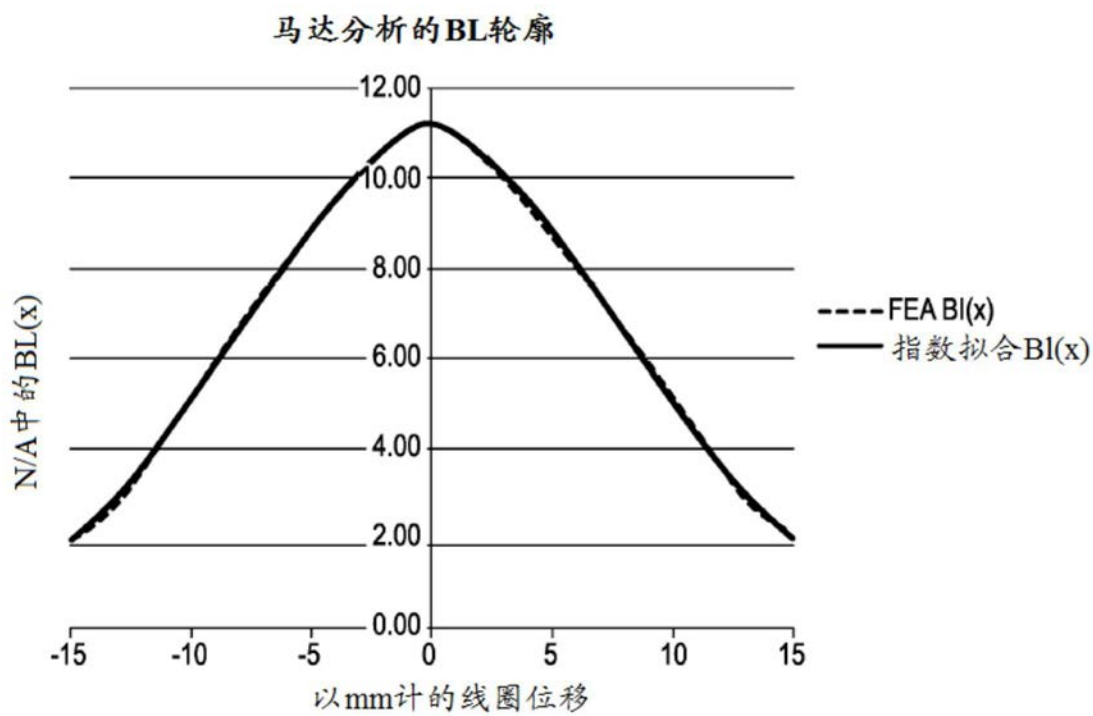


图16

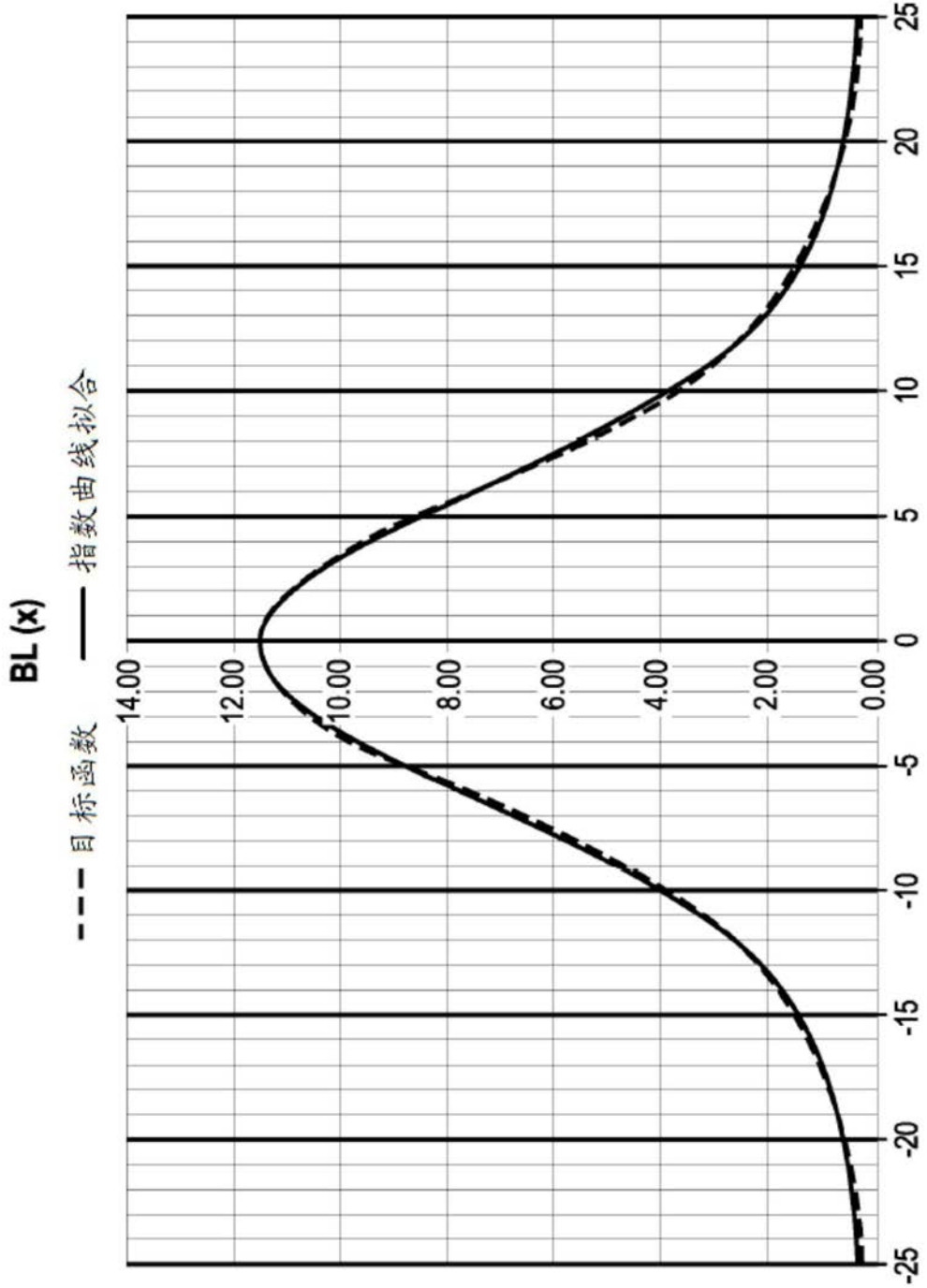


图17

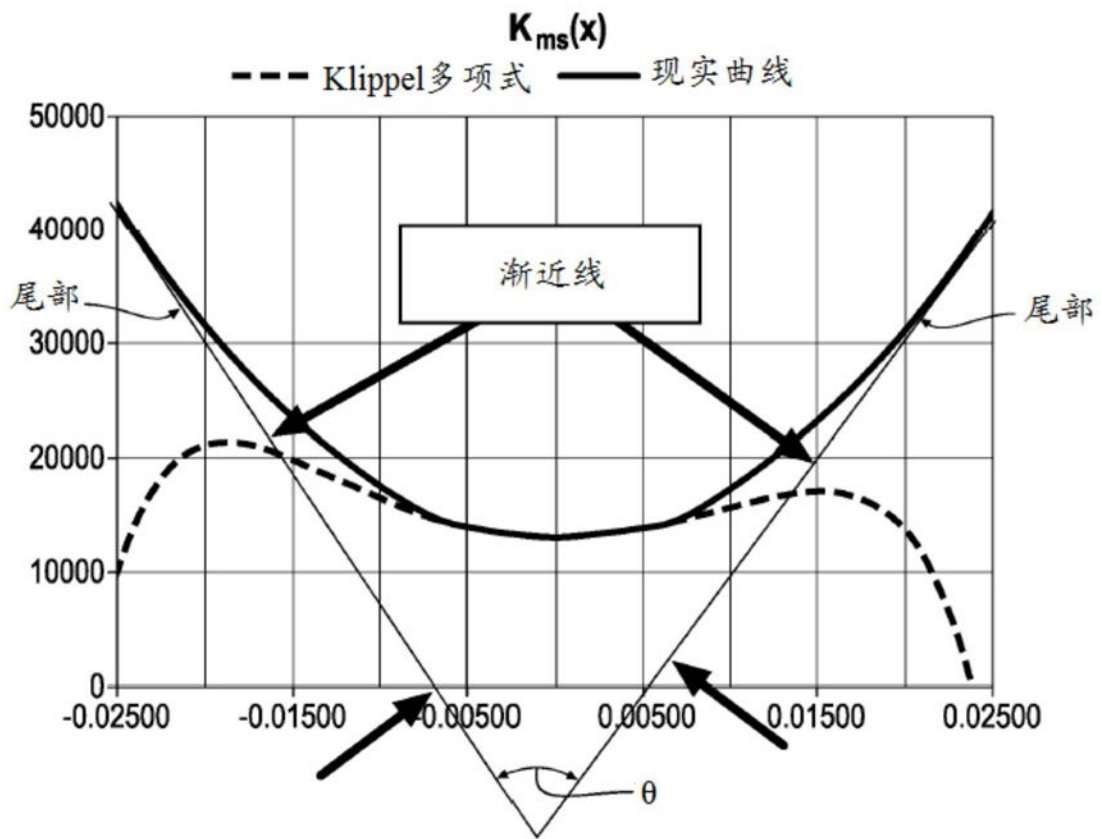


图18

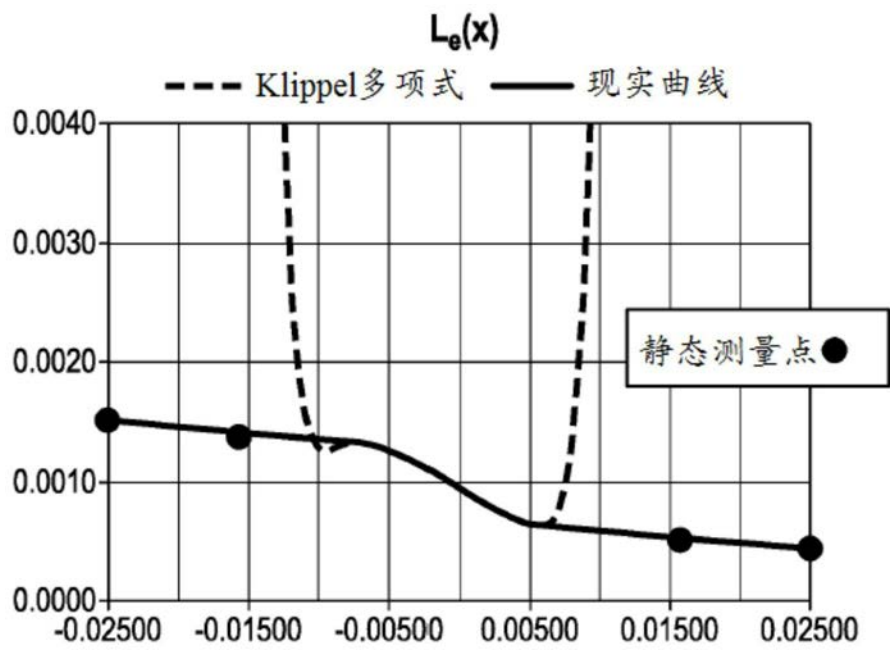


图19

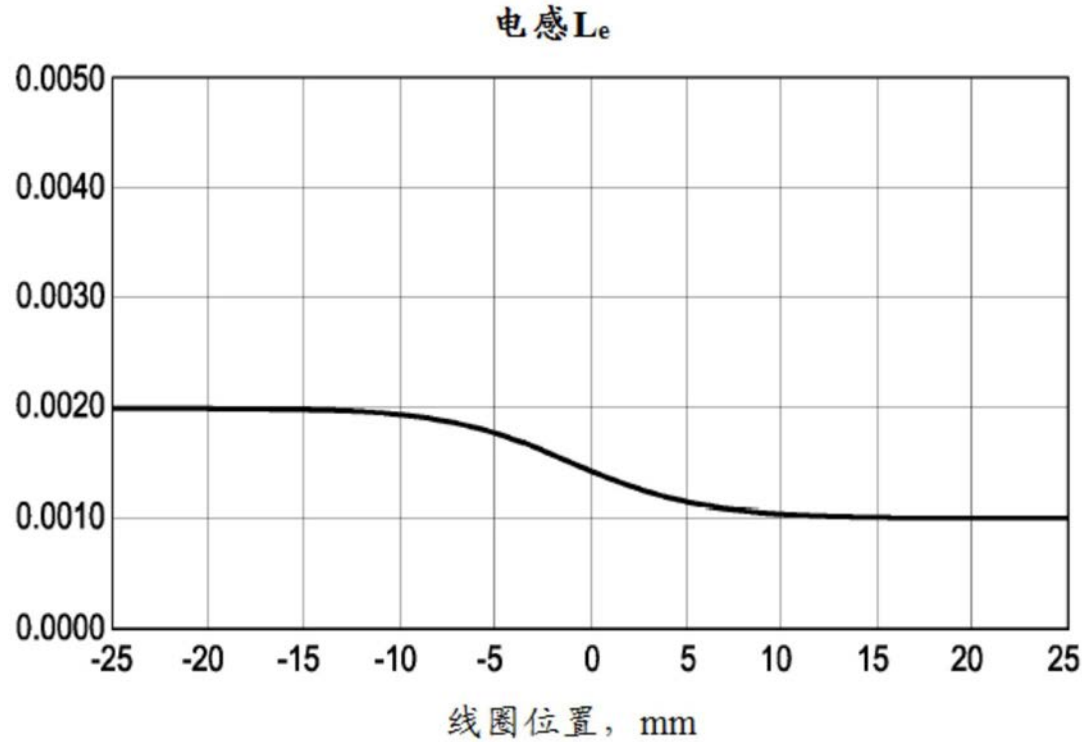


图20

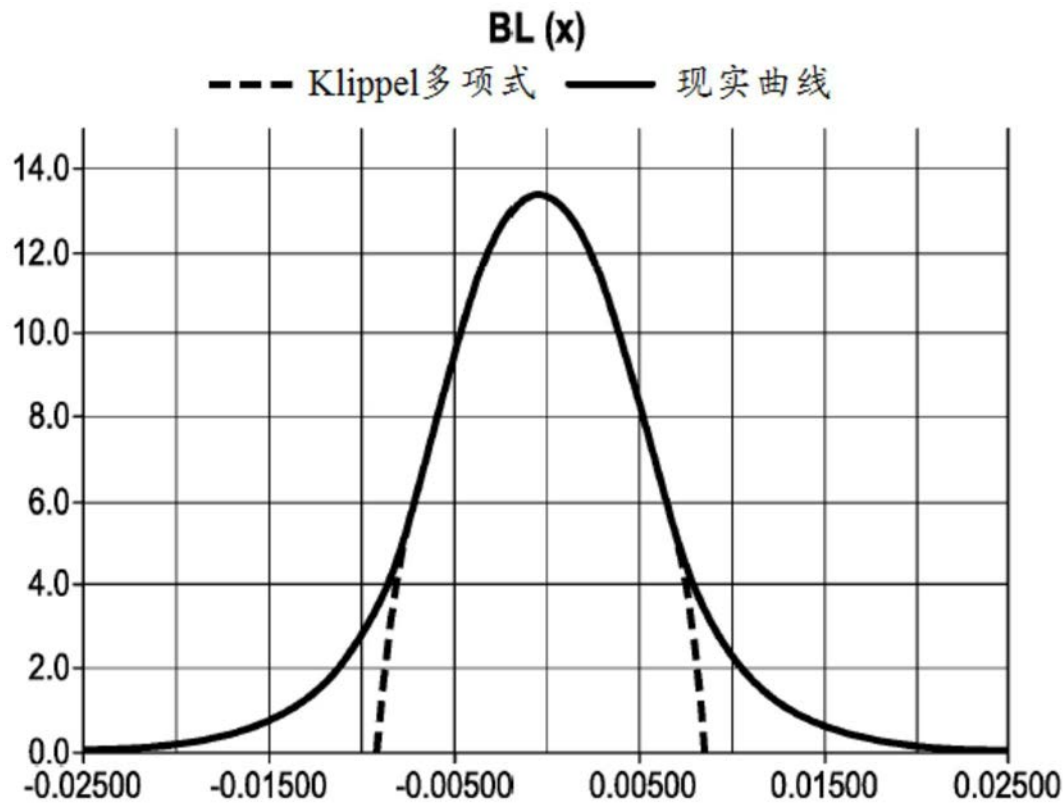


图21A

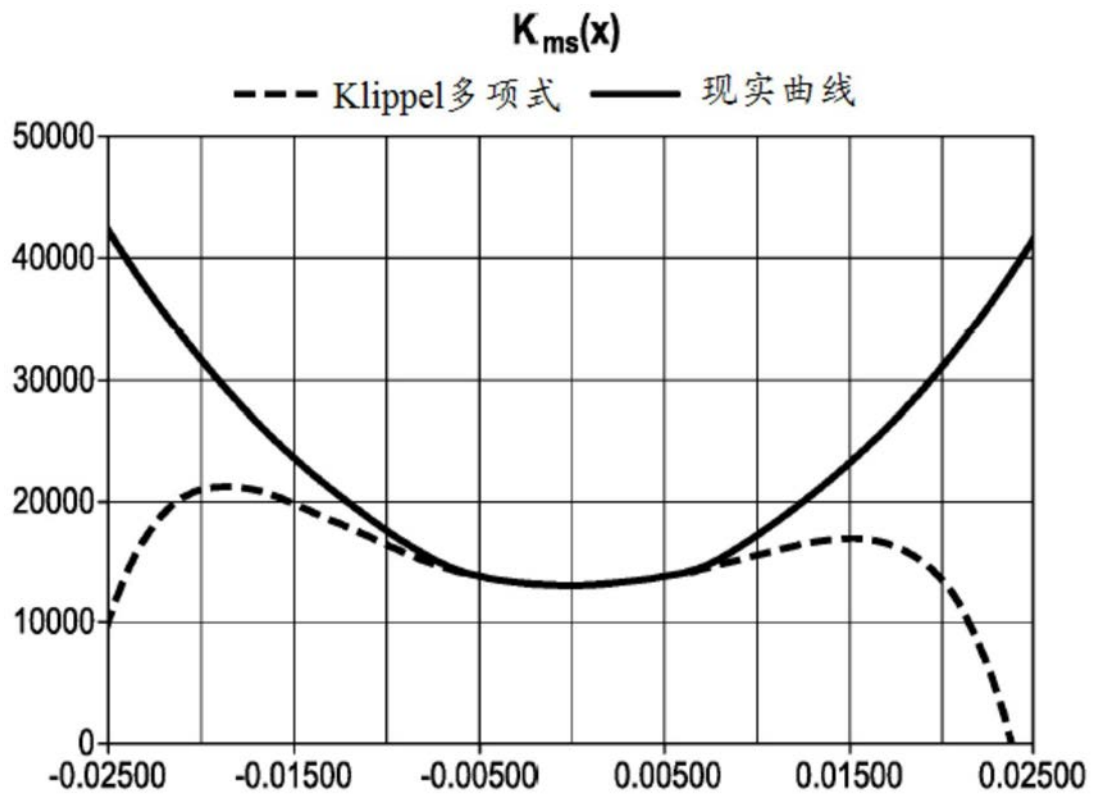


图21B

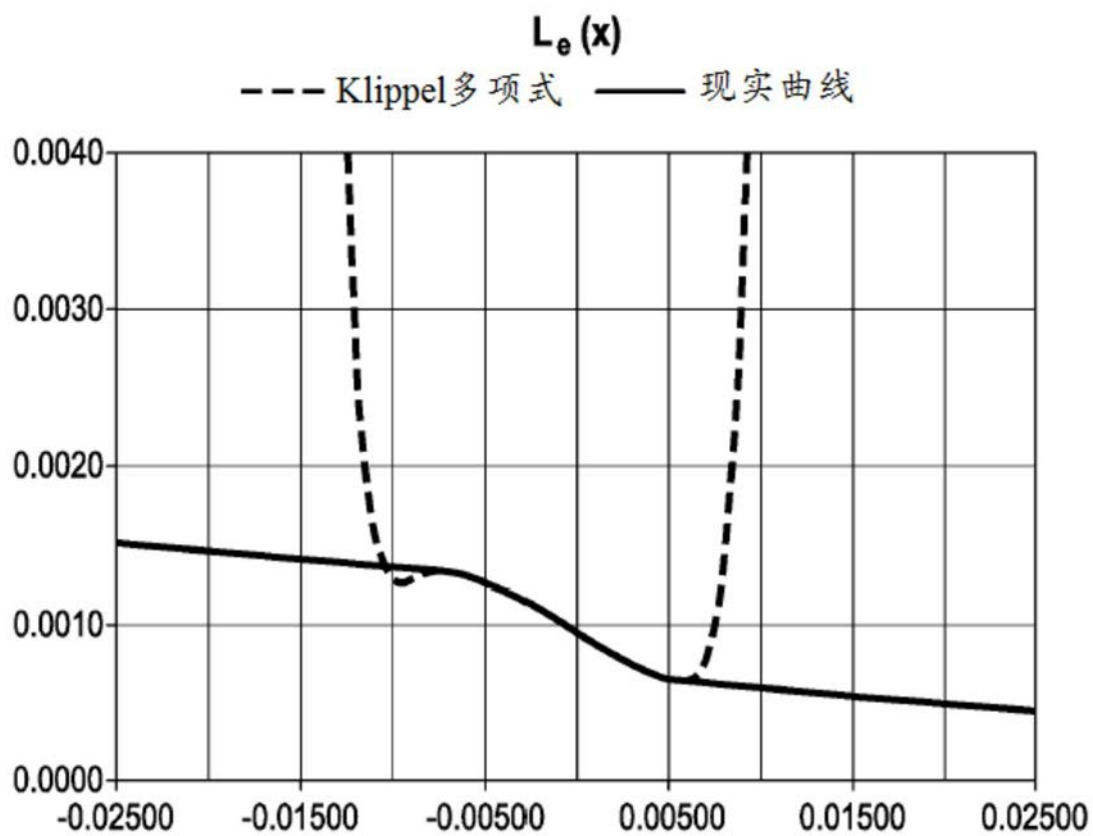


图21C