



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114696052 A

(43) 申请公布日 2022.07.01

(21) 申请号 202210616878.2

(22) 申请日 2022.06.01

(71) 申请人 西南应用磁学研究所(中国电子科
技集团公司第九研究所)

地址 621000 四川省绵阳市滨河北路西段
268号

(72) 发明人 张平川 蓝江河 燕志刚 王大勇
何志强

(74) 专利代理机构 绵阳市博图知识产权代理事
务所(普通合伙) 51235

专利代理人 黎仲

(51) Int.Cl.

H01P 1/217 (2006.01)

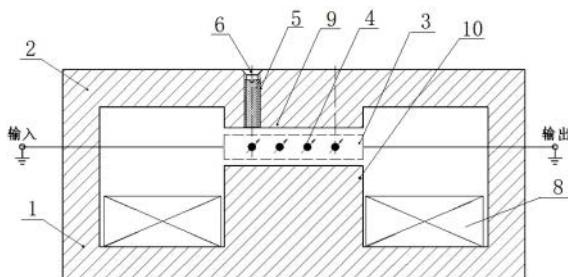
权利要求书1页 说明书6页 附图9页

(54) 发明名称

带磁路气隙场微调结构的磁调谐滤波器及
调试方法

(57) 摘要

本发明公开了一种带磁路气隙场微调结构的磁调谐滤波器及调试方法，滤波器包括由上磁路、下磁路、工作气隙、谐振电路，所述谐振电路包括多个耦合的谐振小球，谐振小球一侧设有小球调节杆，当谐振小球为三个时，上磁路对应级间小球处，竖直设有一贯穿螺孔，当谐振小球大于三个时，上磁路对应输入输出小球处，分别竖直设有一贯穿螺孔，贯穿螺孔内设有一微调螺钉。本发明调试方式简单，通过微调螺钉来调节个别小球局部磁场，再结合小球调节杆来调整该个别小球的固定频率差，实现该谐振子频率与其余谐振子频率在宽的频率范围内重合。解决在宽频带调谐时由谐振小球频率不同步引起的滤波器响应波形变形、指标变差的难题，提高生产效率。



1. 一种带磁路气隙场微调结构的磁调谐滤波器，包括上磁路和下磁路，上磁路中设有上磁极、下磁路中设有下磁极，上、下磁极间设有工作气隙，工作气隙间设有谐振电路，所述谐振电路包括多个耦合的谐振小球，所述谐振电路一侧设有调节谐振小球的小球调节杆，位于两端的谐振小球为输入输出小球、中间的为级间小球；

其特征在于：当谐振小球为三个时，上磁极对应级间小球处，竖直设有一贯穿螺孔，且贯穿螺孔内设有一微调螺钉；

当谐振小球大于三个时，上磁极对应输入输出小球处，分别竖直设有一贯穿螺孔，且贯穿螺孔内设有一微调螺钉；

所述微调螺钉形状与贯穿螺孔匹配，转动微调螺钉时能使其下端面从上磁极的下表面伸出或缩入，所述微调螺钉与对应的谐振小球均为正对，且其上下调节时引起的磁场变化不干涉相邻的谐振小球。

2. 根据权利要求1所述的带磁路气隙场微调结构的磁调谐滤波器，其特征在于：所述微调螺钉的材质与上磁路和下磁路相同，均采用软磁合金材料制成，且微调螺钉下端面的平面度和光洁度，与上磁极端面相同。

3. 一种带磁路气隙场微调结构的磁调谐滤波器的调试方法，其特征在于：包括以下步骤：

(1) 将产品接入矢量网络分析仪中，所述产品为带磁路气隙场微调结构的磁调谐滤波器，其低频端工作频率为 f_1 、高频端工作频率为 f_2 ，调整各谐振小球的耦合度，使 f_1 或 f_2 至少一处满足所有谐振小球的谐振频率一致，响应波形正常；

(2) 判断 f_1 或 f_2 处的响应波形是否均正常，若正常则不调试，否则至步骤(3)；

(3) 确定待调小球，所述待调小球为微调螺钉正下方的谐振小球，旋转微调螺钉，改变待调小球的局部磁场，直到 f_1 、 f_2 频率点处，级间小球与输入输出小球的频率偏差方向相同、且偏差值相同；

(4) 用小球调节杆旋转待调小球，使级间小球工作频率与输入输出小球的谐振频率相同。

带磁路气隙场微调结构的磁调谐滤波器及调试方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种滤波器及调试方法,尤其涉及一种带磁路气隙场微调结构的磁调谐滤波器及调试方法。

背景技术

[0002] 磁调谐滤波器是基于铁磁共振原理制成,主要由磁路单元和諧振电路单元组成,磁路单元主要由上、下磁路和线圈组成,通过线圈电流变化可连续调节的工作气隙处磁场 H_e ;諧振电路单元主要由多级铁氧体小球与耦合环组成,諧振电路在可调的 H_e 激励下将在一定频率范围内调諧工作。同时諧振电路中小球还将承受外输入微波信号通过耦合环时产生的高频磁场 H_a 、铁氧体单晶小球自身存在的磁晶各向异性场 H_k 、小球不圆度带来的退磁场 H_d 等,諧振电路将在上述所有磁场的叠加状态下工作。

[0003] 以带通滤波器为例,諧振电路由多级諧振子构成,理想情况下,諧振电路的各级諧振子应在均匀一致的叠加磁场下工作,且在频率调节时各级諧振子所处叠加磁场同样均匀一致,此时各级諧振子共振频率一致且同步调諧,在整个频段均能得到好的响应波形与技术指标。现有技术中, H_e 可通过磁路设计与高精度的制造工艺控制其均匀性与调节时高线性, H_d 可通过小球制造工艺控制球形度, H_k 可通过小球Ms筛选与精确定向工艺控制, H_a 可通过小球、耦合环尺寸的精确控制,因此现有技术对上述磁场均有准确控制的手段。

[0004] 但是现有技术中,在滤波器整体技术指标设计时,为了获得对外输入、输出端口驻波与各级諧振电路间的最优匹配,諧振电路中各级小球与耦合环的耦合度是有差异的,致使諧振电路中各级小球所受的 H_a 不同,其表现主要是各级小球不同频且调諧时不同步,对滤波器的影响是在通带内形成纹波增大、技术指标变差。

[0005] 所以现有技术问题及缺陷主要体现在两个方面:

(1) 谐振电路中各级小球谐振频率不一致

諧振电路采用多级正交环球諧振耦合结构时,为了获得最佳的端口与级间的匹配状态,设计时输入、输出与级间环球耦合度存在差异,引起输入、输出与级间小球諧振频率不一致,并且在工作频率调节时,这种不一致还将线性变化,致使滤波器响应波形变形,技术指标变差。具体可参见说明书附图的图2a和图2b。图中,f0为通带波形中心频率。

[0006] (2) 滤波器指标调试难度大

调试工序是磁调谐滤波器实现要求指标的重要工序,需要具有专业知识且经验丰富的调试人员,调试中反复调节各小球諧振子的 H_k 、各级环球耦合度,兼顾端口驻波、级间匹配与各小球的不同频、不同步等众多问题,在不同工作频率点反复调整响应波形,以满足各频率点的技术指标要求,调试繁琐,生产效率低。

发明内容

[0007] 本发明的目的就在于提供一种解决各级諧振小球的諧振频率不一致、导致无法满足各频率点的技术指标要求、调试繁琐、生产效率低等问题的,带磁路气隙场微调结构的磁

调谐滤波器及调试方法。

[0008] 为了实现上述目的,本发明采用的技术方案是这样的:一种带磁路气隙场微调结构的磁调谐滤波器,包括上磁路和下磁路,上磁路中设有上磁极、下磁路中设有下磁极,上、下磁极间设有工作气隙,工作气隙间设有谐振电路,所述谐振电路包括多个耦合的谐振小球,所述谐振电路一侧设有调节谐振小球的小球调节杆,位于两端的谐振小球为输入输出小球、中间的为级间小球;

当谐振小球为三个时,上磁极对应级间小球处,竖直设有一贯穿螺孔,且贯穿螺孔内设有一微调螺钉;

当谐振小球大于三个时,上磁极对应输入输出小球处,分别竖直设有一贯穿螺孔,且贯穿螺孔内设有一微调螺钉;

所述微调螺钉形状与贯穿螺孔匹配,转动微调螺钉时能使其下端面从上磁极的下表面伸出或缩入,所述微调螺钉与对应的谐振小球均为正对,且其上下调节时引起的磁场变化不干涉相邻的谐振小球。

[0009] 作为优选:所述微调螺钉的材质与上磁路和下磁路相同,均采用软磁合金材料制成,且微调螺钉下端面的平面度和光洁度,与上磁极端面相同。

[0010] 一种带磁路气隙场微调结构的磁调谐滤波器的调试方法,包括以下步骤;

(1)将产品接入矢量网络分析仪中,所述产品为带磁路气隙场微调结构的磁调谐滤波器,其低频端工作频率为 f_1 、高频端工作频率为 f_2 ,调整各谐振小球的耦合度,使 f_1 或 f_2 至少一处满足所有谐振小球的谐振频率一致,响应波形正常;

(2)判断 f_1 或 f_2 处的响应波形是否均正常,若正常则不调试,否则至步骤(3);

(3)确定待调小球,所述待调小球为微调螺钉正下方的谐振小球,旋转微调螺钉,改变待调小球的局部磁场,直到 f_1 、 f_2 频率点处,级间小球与输入输出小球的频率偏差方向相同、且偏差值相同;

(4)用小球调节杆旋转待调小球,使级间小球工作频率与输入输出小球的谐振频率相同。

[0011] 与现有技术相比,本发明的优点在于:

(1)由于微调螺钉上下调节时引起的 H_e 变化不干涉相邻的谐振小球,也就是说,通过微调螺钉仅可微调其正对的谐振小球的局部磁场,不影响其它谐振小球,从而补偿谐振电路各谐振小球承受的磁场差,解决该位置处谐振小球与其他谐振小球谐振频率不一致的问题,改善整个频段内磁调谐滤波器技术指标。

[0012] (2)调试方式简单,仅通过微调螺钉来调节局部磁场 H_e ,再结合小球调节杆来调整谐振小球的固定频率差,利用 H_k 对固定频率差进行校对,实现该谐振子频率与其余谐振子频率重合。解决在宽频带调谐时由谐振小球频率不同步引起的滤波器响应波形变形、指标变差的难题,减小了磁调谐滤波器指标调试工序中反复调整谐振电路的耦合度与谐振小球 H_k 进行驻波匹配与同步匹配的难题,提高了生产效率。

附图说明

[0013] 图1为本发明结构示意图;

图2a为所有谐振小球同频工作时的理想波形响应图;

图2b为谐振小球不同频工作时的变形波形响应图；

图3为微波场不一致与小球谐振频率的关系示意图；

图4a为低频端 f_1 通过 H_k 将所有小球频率调节一致时整个频段响应波形的典型情况图；

图4b为高频端 f_2 通过 H_k 将所有小球频率调节一致时整个频段响应波形的典型情况图；

图4c为中间频率 $(f_1+f_2)/2$ 通过 H_k 将所有小球频率调节一致时整个频段响应波形的典型情况图；

图5为工作气隙场中局部气隙变化与小球谐振频率的关系示意图；

图6为实施例2中本发明的谐振小球为三级时工作气隙处的放大图；

图7a为实施例2步骤(2)得到的响应波形图；

图7b为图7a经本发明步骤(3)调试后得到的响应波形图；

图7c为图7b经本发明步骤(4)调试后得到的响应波形图；

图8为实施例3中本发明的谐振小球为六级时工作气隙处的放大图；

图9a为实施例2步骤(2)得到的响应波形图；

图9b为图9a经本发明步骤(3)调试后得到的响应波形图；

图9c为图9b经本发明步骤(4)调试后得到的响应波形图；

图10为图1的俯视图。

[0014] 图中：1、下磁路；2、上磁路；3、谐振电路；4、谐振小球；5、贯穿螺孔；6、微调螺钉；7、小球调节杆；8、线圈；9、上磁极；10、下磁极。

具体实施方式

[0015] 下面将结合附图对本发明作进一步说明。

[0016] 实施例1：参见图1-图5、及图10，一种带磁路气隙场微调结构的磁调谐滤波器，包括上磁路2和下磁路1，上磁路2中设有上磁极9、下磁路1中设有下磁极10，上磁极9和下磁极10间设有工作气隙，工作气隙间设有谐振电路3，所述谐振电路3包括多个耦合的谐振小球4，所述谐振电路3一侧设有调节谐振小球4的小球调节杆7，位于两端的谐振小球4为输入输出小球、中间的为级间小球；

其特征在于：当谐振小球4为三个时，上磁极9对应级间小球处，竖直设有一贯穿螺孔5，且贯穿螺孔5内设有一微调螺钉6；

当谐振小球4大于三个时，上磁极9对应输入输出小球处，分别竖直设有一贯穿螺孔5，且贯穿螺孔5内设有一微调螺钉6；

所述微调螺钉6形状与贯穿螺孔5匹配，转动微调螺钉6时能使其下端面从上磁极9的下表面伸出或缩入，所述微调螺钉6与对应的谐振小球4均为正对，且其上下调节时引起的磁场变化不干涉相邻的谐振小球4。

[0017] 所述微调螺钉6的材质与上磁路2和下磁路1相同，均采用软磁合金材料制成，且微调螺钉6下端面的平面度和光洁度，与上磁极9端面相同。

[0018] 一种带磁路气隙场微调结构的磁调谐滤波器的调试方法，包括以下步骤：

(1) 将产品接入矢量网络分析仪中，所述产品为带磁路气隙场微调结构的磁调谐

滤波器，其低频端工作频率为 f_1 、高频端工作频率为 f_2 ，调整各谐振小球4的耦合度，使 f_1 或 f_2 至少一处满足所有谐振小球4的谐振频率一致，响应波形正常；

(2) 判断 f_1 或 f_2 处的响应波形是否均正常，若正常则不调试，否则至步骤(3)；

(3) 确定待调小球，所述待调小球为微调螺钉6正下方的谐振小球4，旋转微调螺钉6，改变待调小球的局部磁场，直到 f_1 、 f_2 频率点处，级间小球与输入输出小球的频率偏差方向相同、且偏差值相同；

(4) 用小球调节杆7旋转待调小球，使级间小球工作频率与输入输出小球的谐振频率相同。

[0019] 其中，当谐振小球4为多个时，所有谐振小球4同频工作时的理想波形响应图参见图2a，而谐振小球4不同频工作时的变形波形响应图参见图2b。经过我们研究发现，当谐振电路3采用多级正交环球谐振耦合结构时，为了获得最佳的端口与级间的匹配状态，设计时输入、输出与级间环球耦合度存在差异，引起输入、输出与级间小球谐振频率不一致，且不一致的数值随工作频率变化而变化，也就是斜率不一致。调整的方式是通过改变局部 H_e 调节各级小球在工作频段内谐振频率的斜率一致，再通过 H_k 调整至谐振频率一致。当谐振小球4为三级时，中间仅一个谐振小球4，我们仅需在中间位置设置一个微调螺钉6，调整中间谐振小球4的局部 H_e 即可使所有小球斜率一致，再通过中间小球 H_k 调节实现所有小球谐振频率一致。当谐振小球4超过3个时，我们在输入输出小球位置设置两个微调螺钉6，调整输入输出谐振小球4的局部 H_e 可使所有小球谐振频率表的斜率一致，再通过输入输出小球 H_k 调节实现所有小球谐振频率一致。

[0020] 本发明的工作原理可参见图3、图4a、图4b、图4c。

[0021] 在磁调谐滤波器中，铁氧体单晶小球的 H_k 不受工作变化频率影响，调节小球方向时在整个频段内频率变化相同，利用 H_k 调节谐振电路3中每个小球谐振频率一致是滤波器调谐过程中主要手段；由环球耦合度不一致带来的 ΔH_e 与由工作气隙高度不一致带来的 ΔH_e 在频率调节时均是线性变化的，对频率的影响也将线性变化。

[0022] 参见图3，横坐标为频率 f ，纵坐标为综合激励磁场 $H=H_e+H_a+H_k$ ，若不考虑 H_e 、 H_a 不一致的影响，当谐振电路3中环球耦合度不一致时， H_a 的不一致对小球 H/f 响应的一致性产生影响，造成 H/f 响应起点与斜率都不同，如图3中，环球耦合度强的时候，在低频端 $f_{1强}$ 产生一高频磁场 $H_{a强}$ ，环球耦合度弱的时候，在低频端 $f_{1弱}$ 产生一高频磁场 $H_{a弱}$ ，则二者在低频端频率的差值为 Δf_1 ，低频端高频磁场的差值为 ΔH_{a1} ，同理，在环球耦合度强和弱两种情况下，在高频端频率的差值为 Δf_2 ，高频端高频磁场的差值为 ΔH_{a2} 。此时通过 H_k 可以上下平移图3中所示的实线或虚线，但是两条线不能整体重合，只能在一个点相交，即在器件调试中通过 H_k 的调节只能在工作频段范围内的一点实现各级小球同频，其余点均有不同程度的不同频问题。

[0023] 参见图4a-图4c，横坐标为频率 f ，纵坐标为幅度响应。对应图3中谐振电路3中环球耦合度不一致时 H/f 响应，图4a是在低频端 f_1 频率点通过 H_k 将所有小球频率调节一致时整个频段响应波形的典型情况，图4b是在高频端 f_2 通过 H_k 将所有小球频率调节一致时整个频段响应波形的典型情况，图4c是在中间频率 $(f_1+f_2)/2$ 通过 H_k 将所有小球频率调节一致时整个频段响应波形的典型情况。可以看出，通过 H_k 在整个频段内均只有“一个”频率点能够实现“理想”波形。

[0024] 参见图5,横坐标为频率 f ,纵坐标为综合激励磁场 $H=H_e+H_a+H_k$,若不考虑 H_e 、 H_a 不一致的影响,当工作气隙中出现高度不一致的情况时,对应小球 H/f 响应的起点与斜率也不同,其响应与图3相似,利用其可反向调整图3中不同耦合度的小球的 H/f 响应斜率,图中,环球耦合度强的时候,在低频端 $f_{1\text{强}}$ 的工作气隙处磁场为 $H_{e\text{强}}$,环球耦合度弱的时候,在低频端 $f_{1\text{弱}}$ 的工作气隙处磁场为 $H_{e\text{弱}}$,二者在低频端频率的差值为 Δf_1 ,低频端工作气隙处磁场的差值为 ΔH_{e1} ,同理,在环球耦合度强和弱两种情况下,在高频端频率的差值为 Δf_2 ,高频端工作气隙处磁场的差值为 ΔH_{e2} 。

[0025] 由于磁场的影响对谐振小球4是叠加的,此时,只针对耦合不一致的谐振小球4在工作气隙高度方向设计一微调螺钉6,调节该谐振小球4的 H_e ,就能够反方调整 H/f 斜率,使之与其余谐振小球4 H/f 斜率一致。此时大部分情况下还存在固定频率差,此时转动该谐振小球4,利用 H_k 对固定频率差进行校对,实现该谐振子频率与其余谐振子频率重合。

[0026] 实施例2:参见图6、图7a-图7c,一种带磁路气隙场微调结构的磁调谐滤波器,其谐振小球4为三个,其余与实施例1中的带磁路气隙场微调结构的磁调谐滤波器结构相同。

[0027] 其调试方法为:

(1) 将待调试的产品接入适量网络分析仪设备中,该产品低频端工作频率为 f_1 、高频端工作频率为 f_2 ,调整各谐振小球4的耦合度,使 f_1 或 f_2 至少一处满足所有谐振小球4的谐振频率一致,响应波形正常,参见图7a。

[0028] (2) 判断 f_1 或 f_2 处的响应波形是否均正常,本实施例中, f_1 处的响应波形正常, f_2 处的响应波形不正常,参见图7a。

[0029] (3) 由于本实施例中谐振小球4为三个,则待调小球为级间小球,旋转级间小球对应的微调螺钉6,减小级间小球对应的局部 H_e ,增加局部磁场的同时增加频率调谐时的斜率,直到调到 f_1 、 f_2 频率点处,级间小球与输入输出小球频率偏差方向相同,且偏差值 Δf 相同参见图7b。

[0030] (4) 再通过小球调节杆7转动级间小球,利用 H_k 对偏差值 Δf 进行校对,使级间小球工作频率与输入输出小球谐振频率相同,实现全频段响应波形正常,如图7c。

[0031] 本实施实例磁路采用单线圈8设计,谐振电路3中采用3级谐振,其中输入、输出级环球耦合度强于中间级环球耦合度,在上磁路2正对谐振电路3中间小球位置设计了一个微调螺钉6,可调节微调螺钉6增加 H_e ,并配合调节中间级小球 H_k ,实现了2-6GHz频率范围内三级小球谐振子同频,改善了滤波器响应指标。

[0032] 实施例3:参见图8、图9a-图9c,一种带磁路气隙场微调结构的磁调谐滤波器,其谐振小球4为六个,仅在输入输出小球位置设置两个微调螺钉6,其余与实施例1中的带磁路气隙场微调结构的磁调谐滤波器结构相同。

[0033] 其调试方法为:

(1) 将待调的产品接入矢量网络分析仪设备中,若器件工作低频端工作频率为 f_1 、高频端工作频率为 f_2 ,调整各谐振小球4的耦合度,使 f_1 或 f_2 至少一处满足所有谐振小球4的谐振频率一致,响应波形正常,参见图9a;

(2) 判断 f_1 或 f_2 处的响应波形是否均正常,本实施例中, f_1 处的响应波形正常, f_2 处的响应波形不正常,参见图9a。

[0034] (3) 由于本实施例中谐振小球4为6个,则待调小球为2个输入输出小球,旋转待调

小球对应的微调螺钉6,增加待调小球对应的局部气隙,减小局部 H_e 的同时减小频率调谐时的斜率,直到调到 f_1 、 f_2 频率点处,级间小球与输入输出小球频率偏差方向相同,且偏差值 Δf 相同,见图9b。

[0035] (4)再通过小球调节杆7转动输入输出小球,利用 H_k 对偏差值 Δf 进行校对,使输入输出小球工作频率与级间小球谐振频率相同,如图9c。

[0036] 本实施实例磁路采用单线圈8设计,谐振电路3中采用六级谐振,其中输入、输出级环球耦合度强于四个级间环球耦合度,在上磁路2正对谐振电路3输入、输出级小球位置设计了两个微调螺钉6,可调节微调螺钉6减小 H_e ,并配合调节输入、输出级小球 H_k ,实现了2-6GHz频率范围内六级小球谐振子同频。

[0037] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

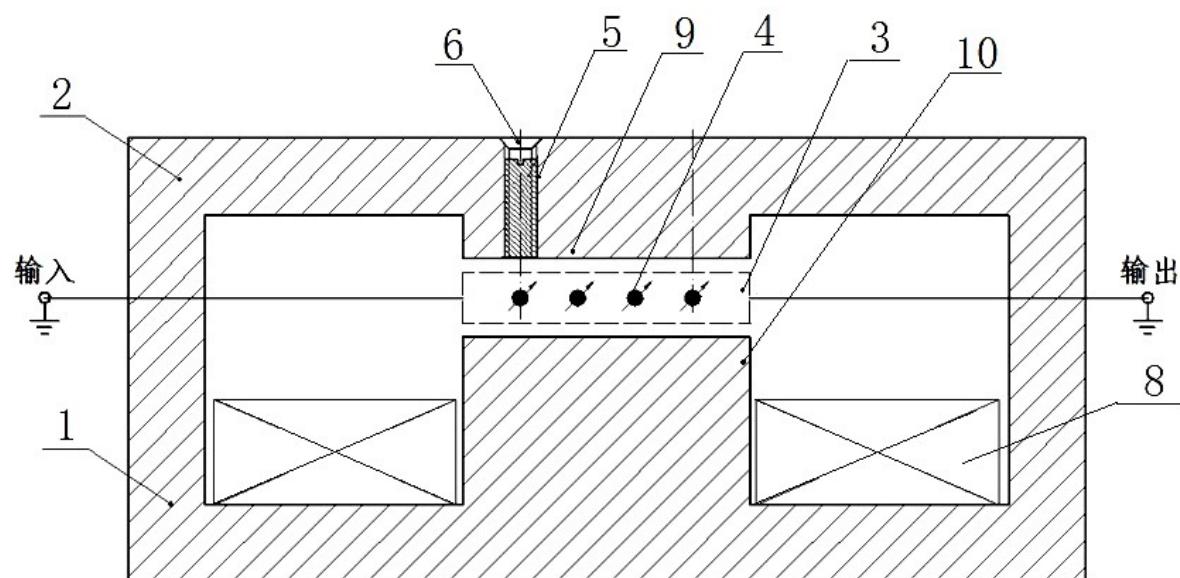


图1

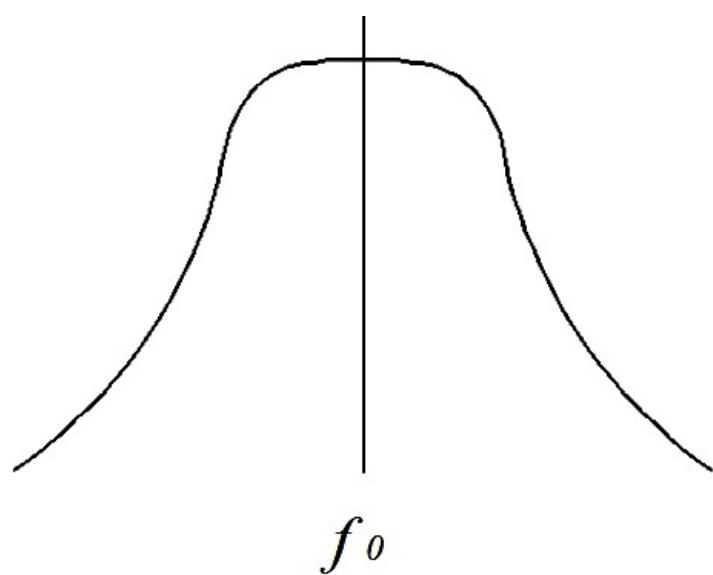


图2a

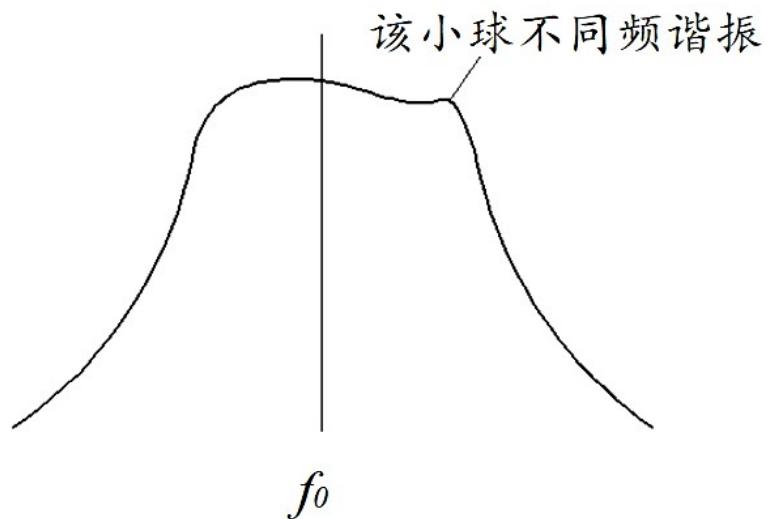


图2b

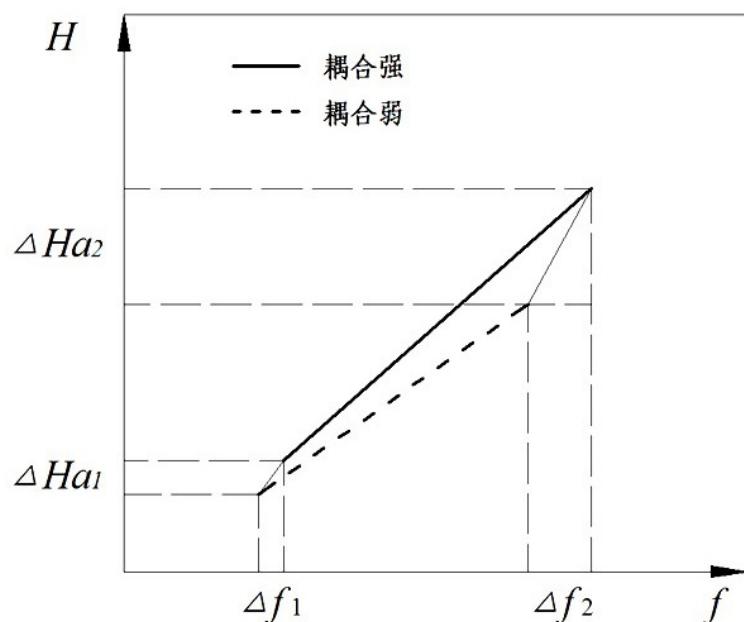


图3

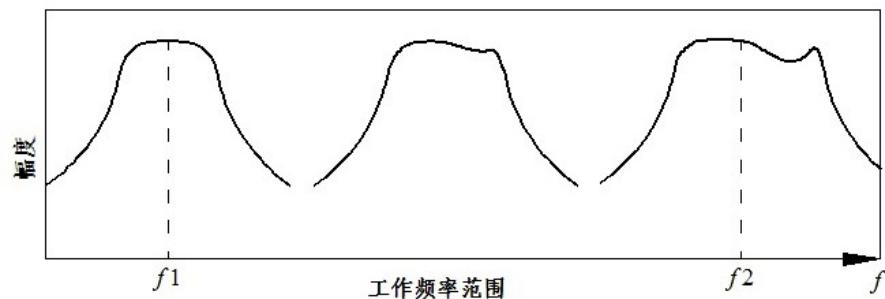


图4a

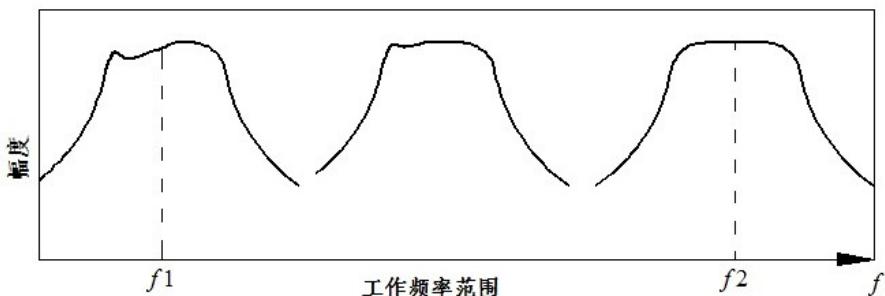


图4b

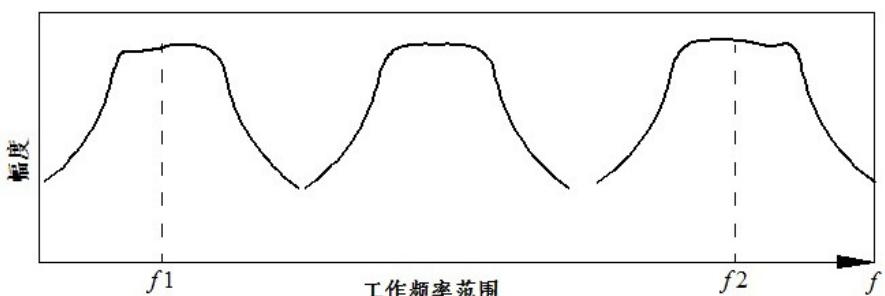


图4c

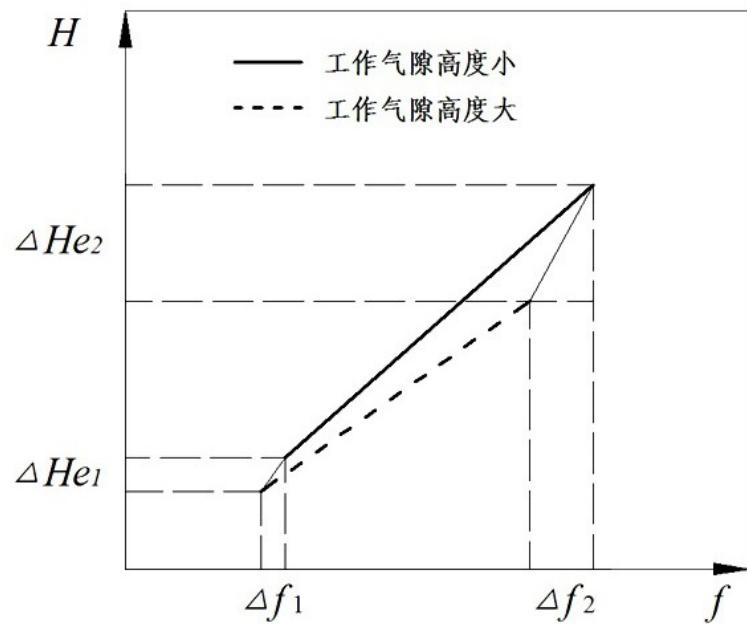


图5

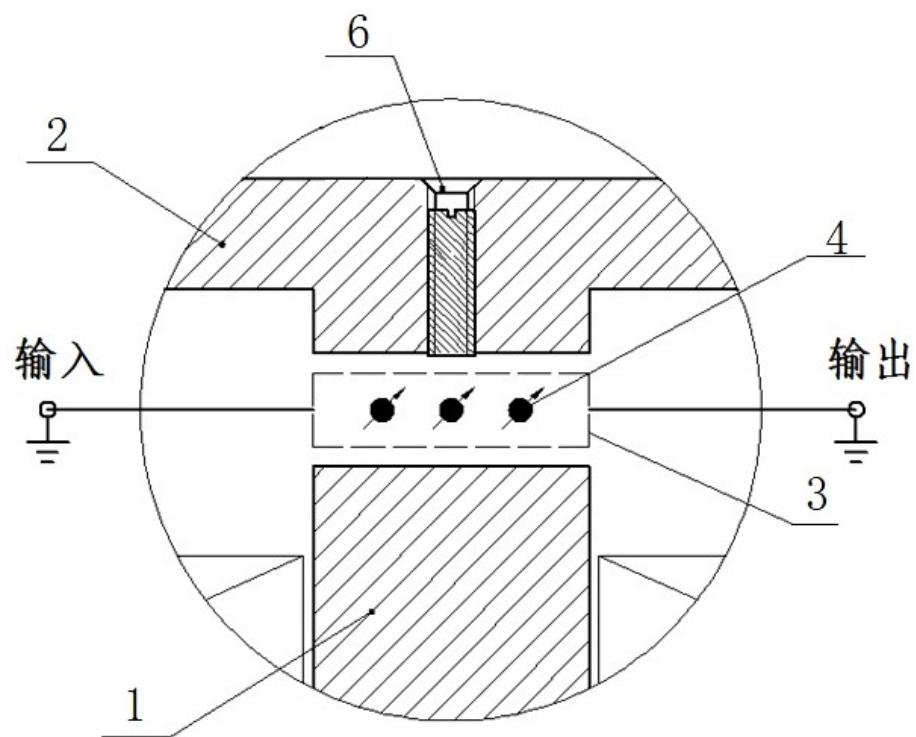
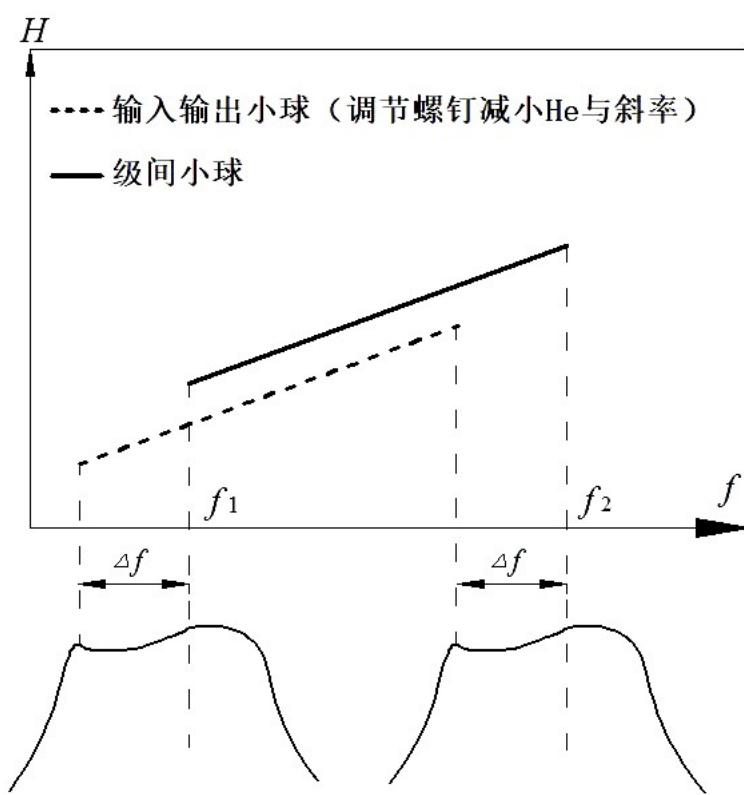
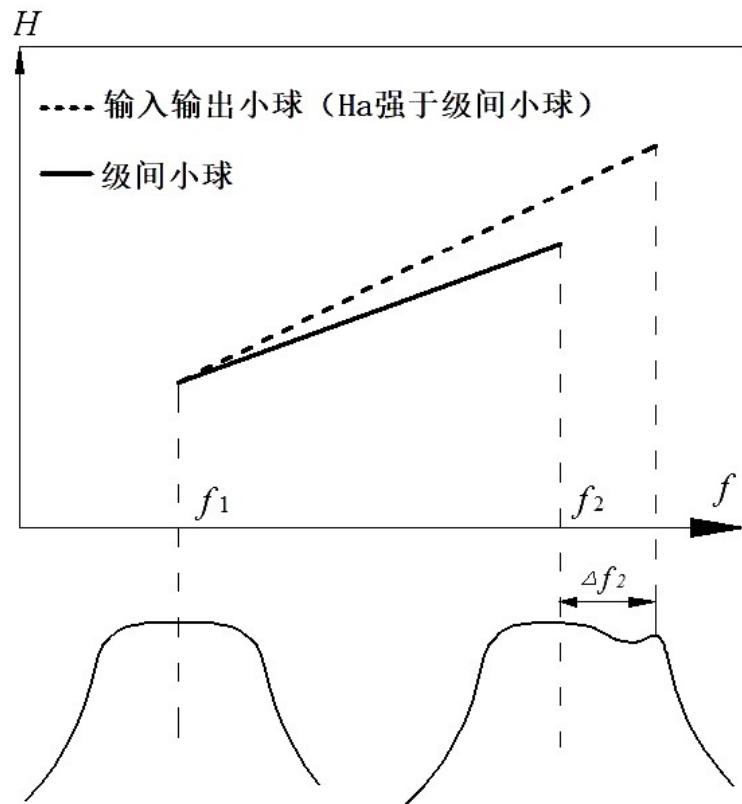


图6



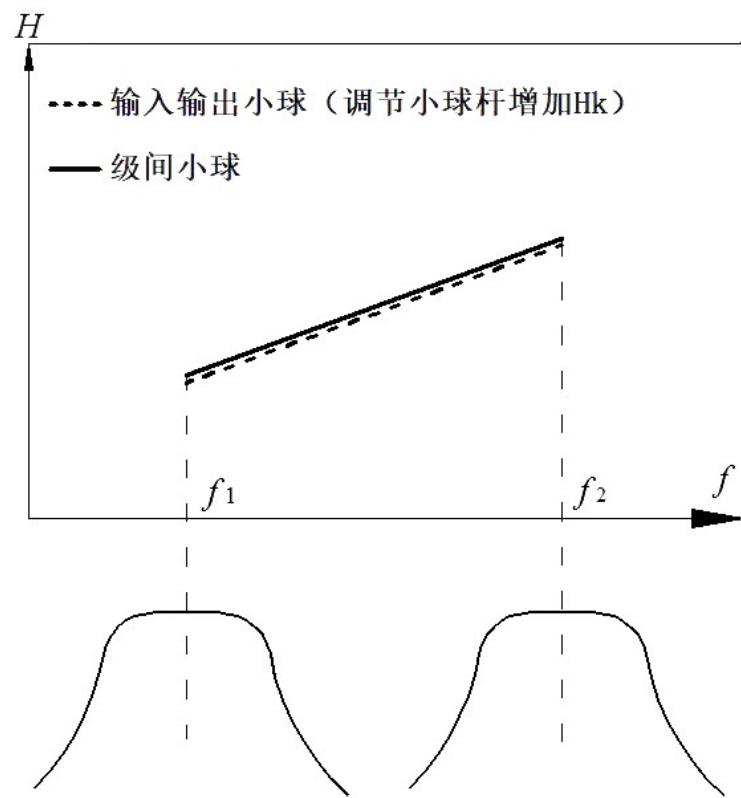


图7c

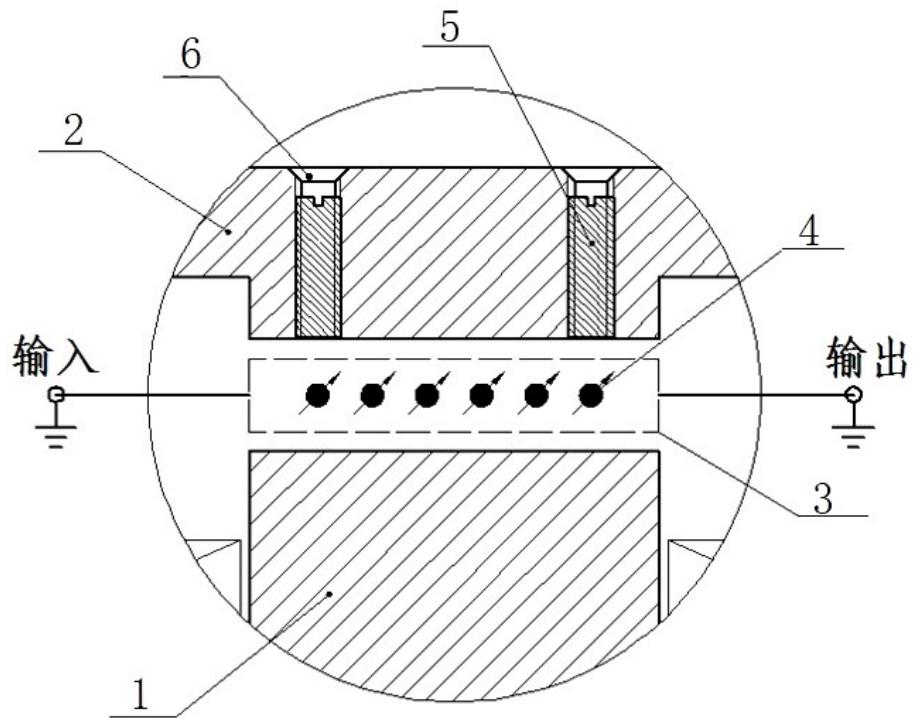


图8

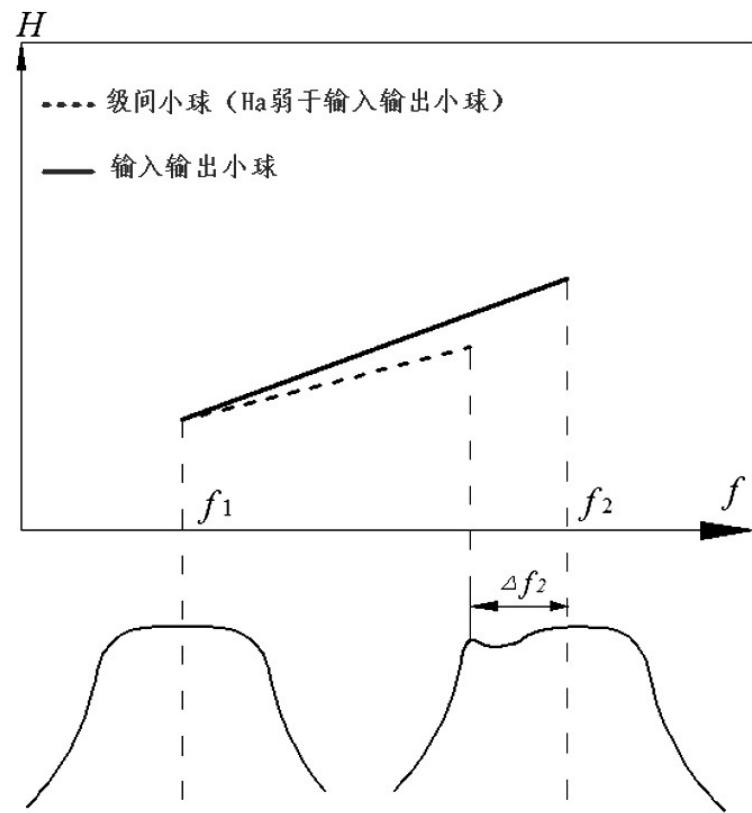


图9a

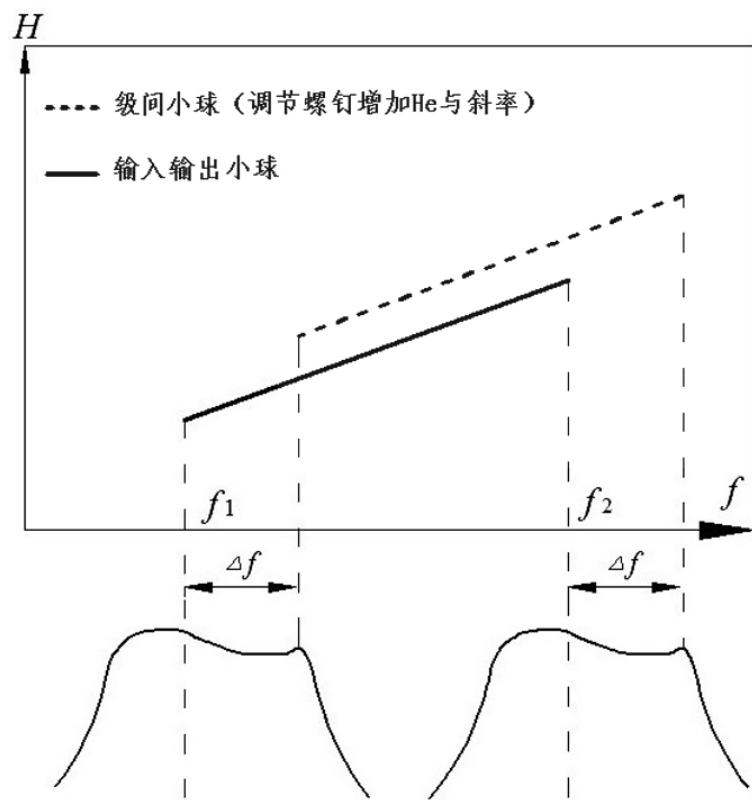


图9b

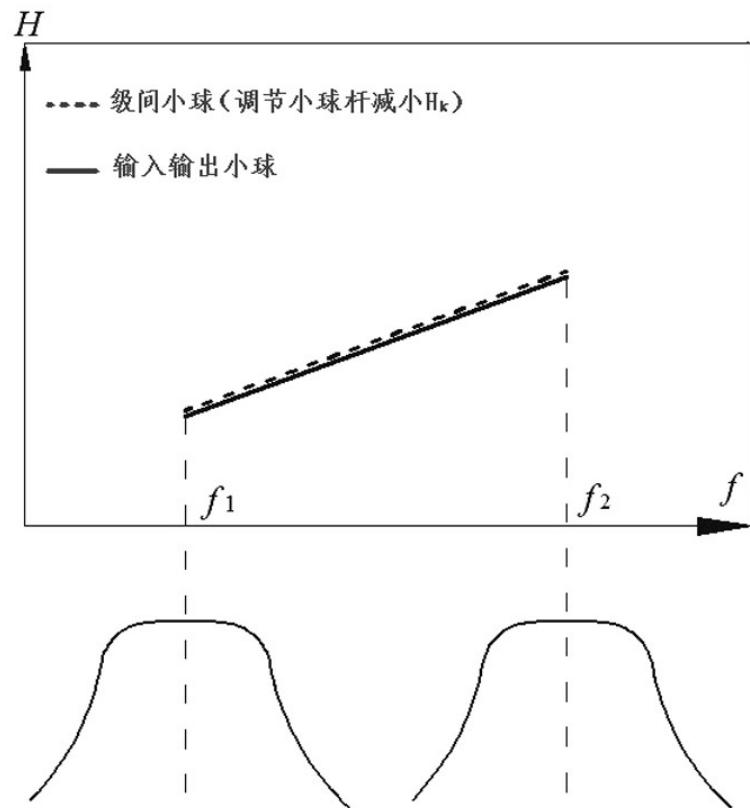


图9c

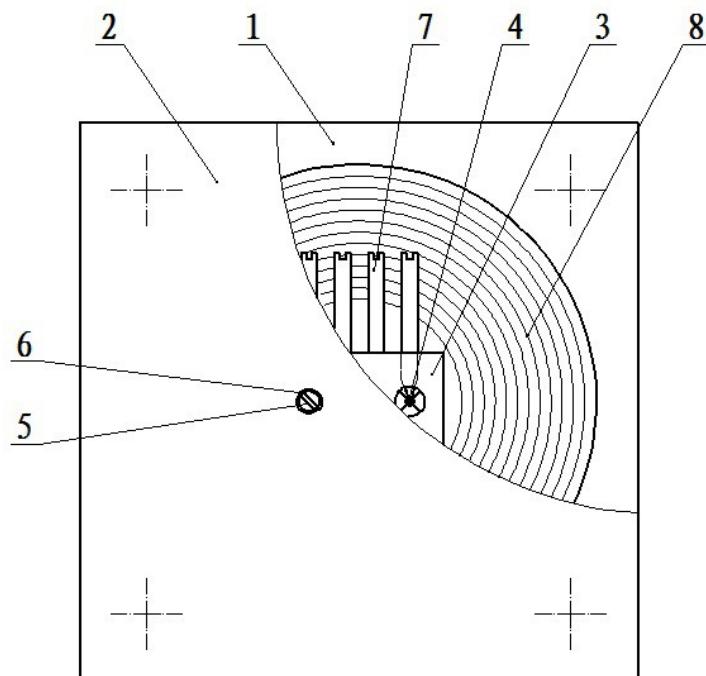


图10