



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102715916 B

(45) 授权公告日 2013. 10. 30

(21) 申请号 201210163836. 4

审查员 谢林

(22) 申请日 2012. 05. 24

(73) 专利权人 电子科技大学

地址 610000 四川省成都市高新区(西区)西
源大道 2006 号

(72) 发明人 赵志钦 朱晓章 柳清伙 聂在平
刘昱朗 牛骏 吴江牛 宋健
王金国

(74) 专利代理机构 成都行之专利代理事务所
(普通合伙) 51220

代理人 谭新民 廖曾

(51) Int. Cl.

A61B 8/00(2006. 01)

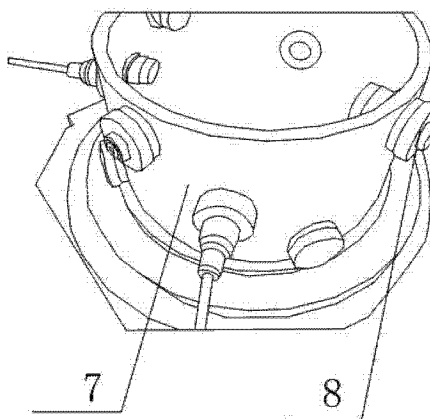
权利要求书1页 说明书9页 附图7页

(54) 发明名称

用于乳腺癌早期发现与诊断的微波热致超声
成像系统

(57) 摘要

本发明公开了用于乳腺癌早期发现与诊断的微波热致超声成像系统,包括圆周扫描转台,所述圆周扫描转台内部设置有辐射天线,辐射天线上方设置有扫描碗,扫描碗设置在圆周扫描转台上方,所述扫描碗上设置有若干个超声探头;所述圆周扫描转台的下方设置有若干个前置放大器,所述前置放大器与超声探头连接。该成像系统利用了肿瘤组织和正常组织在电磁能量吸收率上的强烈对比度以及超声波的波长短成像分辨力高的优点,利用微波热致超声效应,将肿瘤组织在电磁波脉冲照射下转换为超声脉冲源并利用时间反转成像技术对肿瘤组织进行成像与定位,没有电离辐射危害,检测灵敏度和成像分辨率高于传统B超设备,是肿瘤检测领域前沿研究方向和设备发展方向。



1. 用于乳腺癌早期发现与诊断的微波热致超声成像系统,包括圆周扫描转台(17),其特征在于:所述圆周扫描转台(17)内部设置有辐射天线,辐射天线上方设置有扫描碗(7),扫描碗(7)设置在圆周扫描转台(17)上方,所述扫描碗(7)上设置有若干个超声探头(8);所述圆周扫描转台(17)的下方设置有若干个前置放大器,所述前置放大器与超声探头(8)连接;所述扫描碗(7)上设置有若干个通孔,超声探头(8)穿过通孔内部,且设置在碗内的一端与扫描碗(7)的内壁面采用内适配环(9)密封,设置在碗外的一端与扫描碗(7)的外壁面采用外紧固环(10)密封,外紧固环(10)与扫描碗(7)之间设置有O型圈(11),O型圈(11)环绕在超声探头(8)的外壁;水平相邻的超声探头(8)与扫描碗(7)中心之间的角度为 30° ;竖直相邻的超声探头(8)之间垂直距离为35mm。

2. 根据权利要求1所述的用于乳腺癌早期发现与诊断的微波热致超声成像系统,其特征在于:所述圆周扫描转台(17)内部设置有蜗轮(16)以及与蜗轮(16)啮合的蜗杆(12),所述蜗轮(16)的内部设置有轴承托盘(15),轴承托盘(15)中间设置有用于安装辐射天线的孔,扫描碗(7)的底部正对辐射天线设置在轴承托盘(15)上;所述蜗杆(12)连接有步进电机(13),步进电机(13)设置在圆周扫描转台(17)侧壁上,步进电机(13)连接有手轮(14)。

3. 根据权利要求1所述的用于乳腺癌早期发现与诊断的微波热致超声成像系统,其特征在于:所述扫描碗(7)采用聚四氟乙烯制成。

4. 根据权利要求1所述的用于乳腺癌早期发现与诊断的微波热致超声成像系统,其特征在于:所述圆周扫描转台(17)连接有弯波导,所述弯波导远离圆周扫描转台(17)的一端依次连接有环行器(4)、检波器(3)、变径波导(5)以及磁控管(1),所述变径波导(5)上设置有风冷扇(2)。

5. 根据权利要求4所述的用于乳腺癌早期发现与诊断的微波热致超声成像系统,其特征在于:还包括吸收负载(6),所述吸收负载(6)通过水冷管道分别与磁控管(1)和环行器(4)连接;所述磁控管(1)与环行器(4)之间通过水冷管道连接。

6. 根据权利要求5所述的用于乳腺癌早期发现与诊断的微波热致超声成像系统,其特征在于:所述检波器(3)与圆周扫描转台(17)连接,圆周扫描转台(17)底部设置有支架;所述前置放大器主要由依次连接的AD797、四阶滤波器、OPA847、四阶滤波器、OPA846构成。

用于乳腺癌早期发现与诊断的微波热致超声成像系统

技术领域

[0001] 本发明涉及微波热致超声成像系统,主要用于乳腺癌早期发现以及诊断的需求。

背景技术

[0002] 乳腺癌是女性最常见的恶性肿瘤之一,据资料统计,发病率占全身各种恶性肿瘤的 7-10%。它的发病常与遗传有关,以及 40—60 岁之间、绝经期前后的妇女发病率较高。仅约 1-2% 的乳腺患者是男性。通常发生在乳房腺上皮组织的恶性肿瘤。乳腺癌是一种严重影响妇女身心健康甚至危及生命的最常见的恶性肿瘤之一,男性乳腺癌罕见。传统的检测方式有两种,一种是利用钼靶摄片,它是一种无创伤的方法。采用 Siemens-ElemaAB 型乳腺 X 线机,操作简便易行,其乳腺平片图像清晰,层次丰富,信息量大,对普查乳腺疾病特别是乳腺癌早期有着重要的意义。另一种是采用红外乳腺扫描,它是一种用于检查妇女乳腺疾病的绿色、无任何副作用且有效的方法。采用恒康伟业 KJ-1002 型乳腺诊断仪,让红外光透照扫描乳腺组织,通过专用红外 CCD 摄像机摄取图像,经计算机处理,将乳腺组织的各种病变显示在屏幕上,不同的组织变化呈现出各种影像,根据图像的不同灰度,血管的变化与灰度的关系,诊断出各类乳腺疾病。在临床上为医生诊断各类乳腺疾病提供准确依据。上述两种检测方式都是需要大型的设备检测设备作为支撑,体积大,成像的分辨率低,使得医生在判断时,容易出现误差,甚至某些方法具有电离危害,对患者的身心增加压力。

发明内容

[0003] 本发明的目的在于克服上述现有技术的缺点和不足,提供用于乳腺癌早期发现与诊断的微波热致超声成像系统,该微波热致超声成像系统充分利用了肿瘤组织和正常组织在电磁能量吸收率上的强烈对比度,以及超声波的波长短成像分辨力高的优点,利用微波热致超声效应,将肿瘤组织在电磁波脉冲照射下转换为超声脉冲源并利用时间反转成像技术对肿瘤组织进行成像与定位。发射的是 L 或 S 波段电磁波脉冲,没有电离辐射危害,平均功率低(与 GSM 手机通话过程相当),检测灵敏度和成像分辨率高于传统 B 超设备,是肿瘤检测领域炙手可热的前沿研究方向和设备发展方向。

[0004] 本发明的目的通过下述技术方案实现:用于乳腺癌早期发现与诊断的微波热致超声成像系统,包括圆周扫描转台,所述圆周扫描转台内部设置有辐射天线,辐射天线上方设置有扫描碗,扫描碗设置在圆周扫描转台上方,所述扫描碗上设置有若干个超声探头;所述圆周扫描转台的下方设置有若干个前置放大器,所述前置放大器与超声探头连接。

[0005] 所述扫描碗上设置有若干个通孔,超声探头穿过通孔内部,且设置在碗内的一端与扫描碗的内壁面采用内适配环密封,设置在碗外的一端与扫描碗的外壁面采用外紧固环密封,外紧固环与扫描碗之间设置有 O 型圈,O 型圈环绕在超声探头的外壁。

[0006] 所述水平相邻的超声探头与扫描碗中心之间的角度为 30° ;所述竖直相邻的超声探头之间垂直距离为 35mm。在扫描碗的外壁上呈一定的规律设置超声探头,保证 360° 方向都能够进行扫描。

[0007] 所述圆周扫描转台内部设置有蜗轮以及与蜗轮啮合的蜗杆,所述蜗轮的内部设置有轴承托盘,轴承托盘中间设置有用于安装辐射天线的孔,扫描碗的底部正对辐射天线设置在轴承托盘上;所述蜗杆连接有步进电机,步进电机设置在圆周扫描转台侧壁上,步进电机连接有手轮。

[0008] 所述扫描碗采用聚四氟乙烯制成。

[0009] 所述圆周扫描转台连接有弯波导,所述弯波导远离圆周扫描转台的一端依次连接有环行器、检波器、变径波导以及磁控管,所述变径波导上设置有风冷扇。

[0010] 还包括吸收负载,所述吸收负载通过水冷管道分别与磁控管和环行器连接;所述磁控管与环行器之间通过水冷管道连接。

[0011] 所述检波器与圆周扫描转台连接。

[0012] 所述前置放大器主要由依次连接的 AD797、四阶滤波器、OPA847、四阶滤波器、OPA846 构成。

[0013] 所述圆周扫描转台底部设置有支架。支架用于对圆周扫描转台进行支持,在变径波导、吸收负载下方也设置有支架,支架能够进行高度调整。

[0014] 综上所述,本发明的有益效果是:该微波热致超声成像系统充分利用了肿瘤组织和正常组织在电磁能量吸收率上的强烈对比度,以及超声波的波长短成像分辨力高的优点,利用微波热致超声效应,将肿瘤组织在电磁波脉冲照射下转换为超声脉冲源并利用时间反转成像技术对肿瘤组织进行成像与定位。发射的是 L 或 S 波段电磁波脉冲,没有电离辐射危害,平均功率低(与 GSM 手机通话过程相当),检测灵敏度和成像分辨率高于传统 B 超设备,是肿瘤检测领域炙手可热的前沿研究方向和设备发展方向。

附图说明

[0015] 图 1 是扫描碗的结构示意图;

[0016] 图 2 是超声探头的安装示意图;

[0017] 图 3 是圆周扫描转台的结构示意图;

[0018] 图 4 是本发明的波导组装图;

[0019] 图 5 是系统控制系统及其周边部件连接示意图;

[0020] 图 6 是 AD797 的电路图;

[0021] 图 7 是滤波器的原理图;

[0022] 图 8 是前置放大器的结构示意图;

[0023] 图 9 是扫描碗的加载电场图;

[0024] 图 10 为图 9 的对比图;

[0025] 图 11 是聚四氟乙烯扫描碗的反射示意图;

[0026] 图 12 是金属扫描碗的反射示意图。

[0027] 附图中标记及相应的零部件名称:1—磁控管;2—风冷扇;3—检波器;4—环行器;5—变径波导;6—吸收负载;7—扫描碗;8—超声探头;9—内适配环;10—外紧固环;11—O 型圈;12—蜗杆;13—步进电机;14—手轮;15—轴承托盘;16—蜗轮;17—圆周扫描转台。

具体实施方式

[0028] 下面结合实施例及附图,对本发明作进一步的详细说明,但本发明的实施方式不仅限于此。

[0029] 实施例 1:

[0030] 如图 1 所示,用于乳腺癌早期发现与诊断的微波热致超声成像系统,包括圆周扫描转台 17,所述圆周扫描转台 17 内部设置有辐射天线,辐射天线上方设置有扫描碗 7,扫描碗 7 设置在圆周扫描转台 17 上方,所述扫描碗 7 上设置有若干个超声探头 8;所述圆周扫描转台 17 的下方设置有若干个前置放大器,所述前置放大器与超声探头 8 连接。电磁能量到声能量的转换过程,电磁能量由天线辐射到空间中并穿透被测组织,超声信号由病变组织发出并传播至超声探头 8 再次变回电信号。这个过程中,电磁波能量的峰值功率是 KW 级别,超声探头 8 输出的电信号是 uV 级别。二者的强弱差别非常明显,况且强电磁能量对压电式超声探头 8 存在去极化效应,必须尽量避免电磁波能量直接冲击超声探头 8,所以二者应尽量避免对置,考虑到乳房断层成像的需求以及其物理外形特征,设计采用辐射天线主瓣正对乳房放置,而超声探头 8 在乳房侧面进行接收的方式。微波辐射天线可用的开口空间大,便于设计各种类型的天线形式,甚至采用面阵进行波束聚焦;超声探头 8 排列灵活,可在一个柱面或者锥面上排布成阵列,可采用机械扫描并留有余地可以进行电扫;微波脉冲能量的传播方向与超声探头 8 的主瓣中心指向相差 90 度,尽可能的降低对后者的干扰,并减弱去极化效应影响。

[0031] 如图 2 所示,所述扫描碗 7 上设置有若干个通孔,超声探头 8 穿过通孔内部,且设置在碗内的一端与扫描碗 7 的内壁面采用内适配环 9 密封,设置在碗外的一端与扫描碗 7 的外壁面采用外紧固环 10 密封,外紧固环 10 与扫描碗 7 之间设置有 O 型圈 11, O 型圈 11 环绕在超声探头 8 的外壁。由于超声探头 8 为圆柱形,与轴向正交的扫描碗 7 壁相配合必须加入柱面适配组件以及相应的密封组件,以防止声耦合油液渗漏,采用内适配环 9 在内部进行密封,采用外紧固环 10 和 O 型圈 11 在外部进行密封,保证密封效果良好,通过了声耦合液(变压器油)的 48 小时渗漏实验。

[0032] 所述水平相邻的超声探头 8 与扫描碗 7 中心之间的角度为 30° ;所述竖直相邻的超声探头 8 之间垂直距离为 35mm。在俯卧状态下自然下垂的乳房本体直径绝大多数小于 15 厘米,考虑到圆周扫描转台 17 的口径加工问题,拟设计扫描碗 7 口径为 18 厘米,安装超声探头 8 后,超声探头 8 内径约束下的乳房最大直径满足 15 厘米要求。扫描碗 7 深度可根据超声探头 8 阵列需要进行修改,由于扫描碗壁上将有大量钻孔用于安置超声探头 8 及相应的密封件,故碗壁厚度设计为 8mm,相应的碗底厚度也设计为 8mm,碗底固定用法兰边沿为 10mm 厚度。由 20cm 直径的聚四氟乙烯实心棒进行车、铣、切综合工艺加工而成。超声探头 8 阵列的布置,应满足声参数的半波长要求,采用分时扫描方式在圆弧向、轴向两个方向上组成合成孔径,以实现超声探头 8 阵列对于半波长间隔的要求。为了更清晰的描述探头 8 的安装布置方式,扫描碗 7 在做以自身中轴线为轴的圆周运动的时候,每一层的 4 个探头 8 将划过 90 度方位角,4 个超声探头 8 的数据拼接实现整个 360 度的超声探头 8 孔径,并且,其圆周运动的步进角(即每两次超声探头 8 采样之间的角度差)就是该断层圆周超声探头 8 阵列的阵元间距。举例说明,如果扫描碗 7 每次旋转 3.6 度后停下进行回波采样,则 25 次操作后每个超声探头 8 都扫过了 90 度的方位角,拼接数据后在一个圆周上形成了 100 个采

样点,等效于 100 个间隔 3.6 度分布的超声探头 8 所围成的密集阵列进行了单次同步接收。

[0033] 如图 3 所示,所述圆周扫描转台 17 内部设置有蜗轮 16 以及与蜗轮 16 啮合的蜗杆 12,所述蜗轮 16 的内部设置有轴承托盘 15,轴承托盘 15 中间设置有用于安装辐射天线的孔,扫描碗 7 的底部正对辐射天线设置在轴承托盘 15 上;所述蜗杆 12 连接有步进电机 13,步进电机 13 设置在圆周扫描转台 17 侧壁上,步进电机 13 连接有手轮 14。扫描碗 7 在工作过程中必须以其中轴线为轴进行 360 度旋转进行扫描,所以必须设计一个可以精确旋转指定度数的圆周扫描转台 17,将扫描碗 7 固定在该平台上实现圆周扫描。

[0034] 采用蜗轮 16 和蜗杆 12 结构传动。蜗轮 16 蜗杆 12 结构的特殊性(蜗杆 12 旋转 1 周带动蜗轮 16 旋转 1 齿)决定扫描精度和驱动扭矩可以确定满足甚至超过要求。根据圆周扫描转台 17 的中轴开口尺寸,设计圆周扫描转台 17 的蜗轮盘直径 290mm,按照惯例设计其边沿蜗齿个数为 288 个,即蜗轮 16 蜗杆 12 传动机构变比为 288 :1。圆周扫描转台 17 带动扫描碗 7 旋转 90 度,则驱动电机就需要旋转 25920 度,若采用 2 相 4 线步进电机(半步 0.9 度)则需要在要求的 2 分钟内转过 28800 步,即步进电机驱动频率为 240Hz,在此驱动频率下的输出扭矩足以驱动蜗杆的步进电机 13。在半步驱动模式下,最高扫描精度达到 0.003 度,最快扫描速度达到 15 秒 /90 度。

[0035] 所述扫描碗 7 采用聚四氟乙烯制成。如图 9、图 10、图 11、图 12 所示,采用 100mm 高度聚四氟乙烯壁和 150mm 高度金属壁做了对比试验,通过加载电场的分布和加载反射系数的对比,矩圆过渡喇叭的电场分布随碗底介质板厚度变化较小,但是反射系数有较大的变化,当碗底介质板的厚度为 5mm 时,在 2.5GHz 的反射系数大约为 -21dB,能量几乎全部穿透碗底介质板。当碗底介质板的厚度增大到 10mm 时,在 2.5GHz 的反射系数大约为 -14dB,当碗底介质板厚度继续增大到 15mm 时,在 2.5GHz 的反射系数大约为 -11dB,因此可以看出,随着碗底介质板的厚度的增加,碗底介质板的反射也增加,考虑到扫描碗所需的强度,选取 5-10mm 为最佳值。聚四氟乙烯极低的相对介电常数优势(约为 2.1 ~ 2.2)再次得以发挥,其存在与否基本不影响近场的电磁波能量分布,金属碗壁则较好的杜绝了侧向泄漏的能量,全部能量都集中在扫描碗内,但是其内部的电场均匀度存在质疑,不利于后期算法对辐射能量的均匀度进行插值补偿。容器与喇叭之间的缝隙对反射几乎不产生影响。经过实验得出,最终扫描碗的设计参数为碗底厚度在 5 ~ 10mm 之间,壁厚 10mm 以内,高度不限,碗底与碗壁材料均为聚四氟乙烯。

[0036] 如图 4 所示,所述圆周扫描转台 17 连接有弯波导,所述弯波导远离圆周扫描转台 17 的一端依次连接有环行器 4、检波器 3、变径波导 5 以及磁控管 1,所述变径波导 5 上设置有风冷扇 2。还包括吸收负载 6,所述吸收负载 6 通过水冷管道分别与磁控管 1 和环行器 4 连接;所述磁控管 1 与环行器 4 之间通过水冷管道连接。所述检波器 3 与圆周扫描转台 17 连接。冷风扇 2 对磁控管 1 进行辅助降温,防止温度过高导致微波功率下降以及磁控管 1 老化过快。检波器 3 时刻监测磁控管 1 所产生的微波峰值功率,保证圆周扫描转台 17 内的微波辐射峰值功率达到设计要求(峰值功率 8KW 以上,平均功率 100mW 以下)。水冷管用于对磁控管 1、吸收负载 6、环行器 4 的降温。

[0037] 实施例 2:

[0038] 如图 6、图 7、图 8 所示,实施例 2 与实施例 1 的结构基本相同,不同之处在于:所述前置放大器主要由依次连接的 AD797、四阶滤波器、OPA847、四阶滤波器、OPA846 构成。

[0039] 超声信号微弱(峰峰值在 200uV 左右),为实现信号的采样和后期的数字信号处理,需要先对信号进行放大处理。由于数据采集卡的输入信号动态范围是 $\pm 2V$,为充分利用采集卡的分辨力,预计将信号放大到该范围,因此放大器的电压增益在 $4V/200uV=20000$ 左右。超声脉冲信号的频谱宽度大约在 50KHz ~ 800KHz,但是为对超声信号达到高保真的效果,放大器的带宽应远远大于 800KHz。由于同时有多个探头在不同位置同时观测超声信号,要求各通道之间的增益失配小于 1dB,然而探头的输出阻抗在 1 KW 附近离散,为满足失配要求,放大器要求较大的输入阻抗。设计放大器的输入阻抗为 100K,以满足要求。并且,在高增益下必须还要具有驱动长同轴电缆的能力。

[0040] 常采用低噪声高速宽带集成运算放大器。集成运放是由 PN 节和电阻构成,为非理想器件,存在着散弹噪声和热噪声等,放大器的自身噪声会随着信号放大的同时被放大。对于前级放大器,信号较小,为提高系统的噪声性能,放大器自身的噪声要小。此外,当后级放大器的增益越小时,后级的噪声对系统噪声的贡献就越小,同时对后级的噪声性能要求也可适当降低。因此,为保证整体放大器的增益,增益主要集中在低噪声的前级。由于前级的功能是实现微弱信号的宽带放大,那么其需要有足够的增益带宽积和极低的噪声。后级放大器主要实现大信号的输出和一定的带载能力,其需要有足够的压摆率和驱动能力。与此同时,为滤除宽带噪声,在放大器中加入带通滤波器,实现信号的带限和带外噪声的隔离,以提高信噪比。单级放大器的选择需要考虑直流偏移带来的放大器饱和和驱动滤波器的问题,以及足够的电源抑制比(PSRR)以减小供电的影响。

[0041] 除选择低噪声的放大器外,放大器外围器件也要低噪声。如电阻的选择在允许的条件下选择最小值以减小其热噪声的影响。在放大器抗干扰方面,要注意放大器的输入信号线的屏蔽和放大器的整体屏蔽,以及电源的去耦、接地等工作。

[0042] 在稳定性方面,需要考虑放大器寄生耦合造成的正反馈,以及输入输出的负载参数对稳定性造成的影响。

[0043] 放大器设计为输入阻抗 100KW,为保证各通道放大器之间的增益失配小,同时确保增益确定,通道间的输入阻抗值差异要小。由于运算放大器的输入阻抗离散,采用的方法是在放大器输入端并联 100KW 的电阻到地。第一级放大器要求输入阻抗极高,这样才能保证外部的 100KW 的电阻与输入端内部阻抗的并联值与 100KW 的相差小。然而,放大器的输入端有偏置电流,该电流流过 100K 电阻会产生输入端的直流偏移,该偏移经过放大后会影响到交流信号输出摆幅,严重会致使运放饱和不能放大。那么要求运放有较小的偏置电流。此外,放大器还需要有极低的内部噪声,在这里选用的是超声波前级放大器 AD797。AD797 是电压反馈型的低噪声低失真运算放大器,在 $\pm 5V$ 供电,增益为 10 时, -3dB 带宽为 8MHz。其共模输入阻抗为 100MW,输入偏置电流最大值为 2uA。在 1KHz 处的电压电流噪声密度最大值分别为 $1.2nV/\sqrt{Hz}$ 和 $2pA/\sqrt{Hz}$ 。此外,对于电源供电,在 1MHz 处其对于正负电源的抑制比(PSRR)大于 40dB。下面计算说明该放大器用作前级放大的可行性。

[0044] 首先,该放大器在增益为 10 时其 -3dB 带宽可以满足放大的整体要求。在输入阻抗方面,100KW 与 100MW 的并联值仅减小要求阻抗的 0.1%,该比例已经远小于普通电阻的精度(1%),即输入阻抗是满足要求的。输入偏置电流最大 2uA。该电流乘以 100KW 再乘以放大器的直流增益得到最大输出直流漂移 2V。由于放大器工作在正负 5V 供电,其有效输出摆幅最

小为 $\pm 2.5\text{V}$ 。由于直流漂移的影响,那么交流输出正弦信号的峰峰值有效摆幅为 $\pm 0.5\text{V}$ 。AD797 用作前级放大,增益为 10,输入为交流耦合,且信号小于 $200\mu\text{V}$,那么输出有效信号小于 2mV ,因此 $\pm 0.5\text{V}$ 的交流摆幅完全可以满足要求。

[0045] 在噪声方面,当放大器输入端接入超声波探头时,将输入电流噪声视为一个电流源,其交流负载就是探头阻抗($<1\text{KW}$)、放大器输入设定阻抗(100KW)的并联值,估算最大值为 1KW 。那么噪声电流在阻抗上呈现出的噪声电压密度为噪声电流密度与负载阻抗的乘积,即为 $2\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。同时, 1KW 的源阻抗在室温 300K 的条件下噪声热密度为 $4\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。那么放大器的整体等效输入噪声密度为电压密度、电流密度和热噪声密度的平方和的开方。计算得 $4.6\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 在估算 8MHz 的带宽下,等效输入噪声幅度为 $4.6\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}} \times \sqrt{8000000\text{Hz}} = 13\mu\text{V}$,即完全可以达到系统要求的信噪比,满足系统设计要

求。需要补充的是,放大器在 1MHz 时的电源抑制比大于 40dB ,由于所选电源通过旁路屏蔽可以极大减小高频噪声,可以保证放大器的工作带宽内的噪声有效值小于 $100\mu\text{V}$,那么电源噪声在放大器的输入端的等效输入值小于 $1\mu\text{V}$,因而其噪声影响是可以忽略的。在输出方面,由于信号此时极其微弱,那么其驱动滤波器是可以的。

[0046] AD797 做第一级放大,在增益为 10 时在各方面满足要求,当增益更大时,由于增益带宽积的限制,其工作带宽已不能够满足放大器的要求。但是在前面的设计分析中提出:考虑到低噪声的要求,增益主要集中在前级放大器。因此需要低噪声高增益带宽积的放大器作为第二级,实现高增益的放大。在此选用 OPA847 作为第二级放大芯片。OPA847 是电压反馈型放大器,其增益带宽积高达 3.9GHz ,输入电压噪声密度最大为 $1\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$,电流噪声密度最大为 $3.7\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$,适合做宽带高增益放大。其在 100W 负载, $\pm 5\text{V}$ 供电时输出摆幅最小为 $\pm 2.9\text{V}$,可以满足滤波器的驱动需求。相比于 AD797,OPA847 的输入偏置电流大: $42\mu\text{A}$,输入阻抗不够大: 2.3MW 。若用该放大器的做第一级,那么 $42\mu\text{A}$ 的偏置电流在 100KW 电阻上的压降会使运放完全饱和,无法实现正常的放大;其不够大的输入阻抗与 100KW 输入电阻的并联值会带来放大器输入阻抗的离散性,从而带来增益的离散性。此外其电流噪声性能不如 AD797。在作为第二级放大时,由于放大器的输入端并联滤波器所需的 50W 匹配电阻,那么输入偏置电流造成的对输出摆幅的影响将会很小。对比之下,OPA847 适合做第二级放大,并且暂定其放大倍数为 151 倍便于分析噪声和带宽特性。

[0047] 在输出摆幅和带宽方面,OPA847 的输入偏置电流最大为 $42\mu\text{A}$,在 50W 上的压降为 2.1mV ,那么经过 151 倍放大后的直流输出为 317mV 。其输出交流有效摆幅范围为 $\pm (2.9-0.317)\text{V}$ 。由于输入信号最大为 1mVpp (滤波器阻抗匹配使输入信号幅度衰减为原来一般),那么输出信号最大为 151mVpp 。因此摆幅是完全满足要求的。在带宽方面,其在增益为 151 时,理论工作带宽为 $3900\text{MHz}/151$,约为 26MHz ,考虑到寄生参数等的影响,实际带宽不会这么宽,但是满足 8MHz 的带宽是没问题的。

[0048] 在噪声方面,由同相输入端向外看的交流阻抗为第一级 AD797 的输出阻抗和本级输入阻抗的并联值,即为 25W ,那么电阻在 300K 时热噪声密度为 $0.63\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。因此其等效输入噪声密度为 $\sqrt{1\text{nV}^2 + (3.7\text{pA} \cdot 50\text{K}/1000)^2 + 0.63\text{nV}^2}/\sqrt{\text{Hz}}$,约为 $1.18\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。该密

度小于第一级的 $4.6\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，能够满足放大器的噪声需求。

[0049] 相对于前两级放大器而言，第三级的放大器主要实现大信号放大输出和负载的驱动。该级增益相对于前面较小，对于噪声性能的要求也降低。OPA847 同样可以为第三级放大，为降低成本，这里选用 OPA846。该放大器与 OPA847 的结构和基本参数是一致的，主要区别在于增益带宽积较小： 1.75GHz ，输入电流噪声密度较大： $3.6\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，输入电压噪声密度为 $1.5\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，输入偏置电流为 $20\mu\text{A}$ ，在 50Ω 输入阻抗上产生 1mV 偏置电压，则放大后输出直流偏置为 53.2mV ，那么其输出交流有效摆幅范围为 $\pm(2.9-0.05)\text{V}$ ，可以满足要求。在噪声方面由于与第二级性能接近，同时由于是最后一级，增益不大，噪声性能能够满足设计需求。

[0050] OPA846 不论电压还是电流噪声密度分布在大于 100kHz 时都很小且平坦。然而在小于 10kHz 时，随着频率降低，噪声密度急剧增加。事实上一般的高速运算放大器都具有这样的特性：具有优秀的高频噪声性能，但在低频段却有着很强的 $1/f$ 噪声。 $1/f$ 在低频段呈现出很大的幅度，会严重恶化放大器的性能。由于信号的有效 -3dB 频带为 $50\text{kHz} \sim 8\text{MHz}$ ，可以采用截止频率为 50kHz 的高通滤波的方法滤除低频噪声，同时保证能完整放大信号。在高频段，频率越高，外界的噪声越容易进入放大器。为减小带外高频噪声的影响，需要在信号通路中加入带通滤波。因此在放大的通路中加入带通滤波器有利于尽可能多的放大信号和减小带外噪声。要实现带通滤波，可以用无源或有源的方式实现。相对于无源滤波，有源滤波器由于使用到运放，必然会带来更多的额外噪声，同时也会增加成本，因此选用无源滤波器。无源滤波器常用的有 RC 式和 LC 式。RC 式滤波器的缺点在于插入损耗大，带内不平坦，难以实现平坦的高阶滤波，同时电阻也会带来额外的热噪声。因此采用 LC 滤波器。LC 有不同的结构，不同的结构具有不同的衰减特性、起伏特性和相位特性。为保证足够的带内平坦度，这里选择带内平坦的巴特沃斯滤波器。

[0051] 带通滤波器多采用截止频率为信号的频带上限的带通滤波器和截止频率为信号频带下限的高通滤波器级联来实现。然而，由于低通和高通分别需要一组元件实现。那么该方法的缺点在于要实现高阶滤波时，元件数量特别多，元件值的离散性对通带宽度，带内平坦度的影响较大，不利于调试和放大器的批量生产。解决的办法是滤波器采用巴特沃斯结构的低通滤波器的同时，放大器的级间耦合采用交流耦合。交流耦合使得滤波器的信号源（放大器输出）阻抗不为纯阻抗特性，同时低频带的衰减不足，因此牺牲一定的通带性能。

[0052] 由于要求带外衰减大于 40dB/oct ，根据每阶滤波器的衰减率为 6dB/oct 计算，滤波器的阶数必须大于等于 7 阶，这里在第一级和第二级分别加入五阶滤波器实现整体 10 阶滤波，理论上 60dB/oct 的衰减。

[0053] 根据前面分析和器件的选择，确定放大器的结构和增益的分配，同时确定供电为 $\pm 6\text{V}$ 。

[0054] 放大器的输入以及级间均采用交流耦合，在实现高通的同时避免前级放大器输出的直流漂移导致后级放大器摆幅不够甚至饱和。在每两级放大器之间加入 5 阶的巴特沃斯低通滤波器。滤波器的 -3dB 截止频率为 8MHz 。各级放大器均为同相放大，第一级输入端阻抗为 $100\text{k}\Omega$ ，第二、三级同相端输入阻抗均为 50Ω ，三级放大器的输出阻抗均为 50Ω 。由于第二级和第三级放大器的输入端均有滤波器，而滤波器的阻抗匹配（源阻抗与负载阻抗均为

50W) 会带来 6dB 的增益损失, 因此后两级放大器需要补偿该损失。那么整个放大器的实际增益为: $10 \times (151/2) \times (53.2/2) = 20083$, 与设计预期相吻合。

[0055] 信号输入端采用交流耦合, C15 和 R2 构成截止频率小于 20Hz 的高通滤波器, 可以隔离直流信号的输入。二极管 D1、D2 构成双向限幅, 一方面防止过大信号输入损坏运放。由 R5 和 R27 构成的反馈网络实现 10 倍增益, 同时电阻选取尽可能小的值, 从而减小电阻的热噪声。对放大器的电源供电采用磁珠与电容结合的反“G”型低通滤波器, 该方式一方面可以减少电源线上各种耦合到放大器中, 另一方面可以确保运放的去耦, 保证运放的快速响应。此外由于后级放大输出大信号通过辐射、寄生电容等方式可能耦合到电源线, 若该信号再通过电源线耦合到前级放大器, 当满足正反馈的条件时, 会造成放大器的自激振荡。因此, 该方式还具有改善放大器稳定性的作用。运放的输出端为交流耦合, 由于输出阻抗极小 (小于 1W), 那么串联电阻 R26 作为滤波器匹配的源电阻的同时, 还可以改善运放的容性负载驱动能力, 确保运放工作的稳定。

[0056] 后两级放大器的结构与第一级类似。只是输入端 R2 的位置采用的是 50W, 可以减小直流漂移和噪声影响。

[0057] 滤波器采用五阶巴特沃斯滤波器。50W 源阻抗即为放大器输出端的串联电阻, 50W 负载阻抗为下一级放大器的同相端输入电阻。

[0058] 放大器的大小并联去耦电容靠近供电引脚尽可能地近, 电容的接地引脚也要就近接地。电容的引线越短, 串联阻抗 ESR 越小, 高频响应越好; 同时引线的串联电感小, 电容的谐振频率高, 可去耦的频率范围更宽。

[0059] 运算放大器的反相输入端和输出端对容性负载极其敏感, 极小的电容可能都会导致运放自激或工作带宽不足。因此这两个引脚向外的引线应该尽可能短, 从而减小对地的寄生电容。

[0060] 信号流向按照弱信号到大信号方向沿一个方向流动, 即第一级到第三级放大器物理位置在一条直线上, 在尽可能小的 PCB 空间中尽可能大的保证小信号放大器到大信号放大器之间的距离, 减小后级放大器的大信号输出耦合到前级放大器, 造成正反馈, 致使运放自激振荡。

[0061] 电源供电从输出级的位置输入, 这样各级放大器的电流都从输出级的位置流回, 而输出级的电流不会留到输入级, 可以避免输出电流在地线阻抗上的压降反应到输入级, 造成正反馈。

[0062] 放大器的级间的连线尽可能短, 且尽量走直线, 减小信号环路, 减小寄生耦合。走线转角避免 90° 转角, 使用 45° 转角。由于 PCB 为两层, 底层作为地平面。为确保干净的地参考, 地平面应尽可能的完整, 尽可能少地布放大面积元件, 尽可能少地走线从而导致地平面分块。主要器件置于顶层, 电源线从顶层走线, 走线与信号线保持一定距离, 同时尽可能多地避免与信号线平行。

[0063] 放大器在设计时考虑了器件的选择, 合理的放大结构、具体物理设计和电源的选择, 这些工作将放大器本身内部的噪声限制到了最小。然而, 该放大器的增益高达 20000 倍, 对于环境的电磁辐射极其敏感。微弱的电磁辐射在信号通路中产生的电压被放大都会恶化放大器的噪声性能, 严重者甚至完全淹没信号, 使被放大的信号难以检测或无法检测。环境噪声主要通过信号输入线, 电源线, PCB 电路上的走线等的天线作用进入电路, 因此主

要方法就是屏蔽这些部分。

[0064] 直流稳压电源放置于 MITAT 综合控制器机箱中,放大器采用导磁的软铁屏蔽壳包装,放大器的信号地和电源地与屏蔽壳连接。电源通过双芯屏蔽线传输到放大器,电源地连接到屏蔽壳,电源屏蔽线的屏蔽层在两侧均连接到相应的屏蔽壳。信号输入输出线均采用单芯同轴线连接。信号输入线的探头一侧屏蔽层连接到探头的金属外壳,放大器一侧屏蔽层连接到屏蔽壳。信号输出线屏蔽层连接到放大器屏蔽壳。信号的输入输出连接均采用标准的 BNC 接头,电源线采用双芯的航空插头,从而确保屏蔽的 360° 搭接和机械结构的可靠。

[0065] 放大器的输出信号线包含地线(屏蔽层),该地线会与下一级系统相连。放大器除输出屏蔽线外不能与下一级系统的参考地进行连接,否则可能构成地环路,地环路的噪声会严重影响系统的噪声性能。因此,超声探头外壳、放大器外壳以及输入信号线、电源传输线的屏蔽层均与下级系统保持电气隔离,保证只有信号输出线与下级一点相连。

[0066] 所述圆周扫描转台 17 底部设置有支架。圆周扫描转台 17 由可调高度的支架支撑,微波辐射天线从支架中穿过,天线开口向上,正对扫描碗 7 底部辐射。

[0067] 微波热致超声成像系统的控制系统如图 5 所示,系统控制器和信号处理平台之间通过 LPT 接口连接。系统控制器内集成有低纹波线性电源、开关电源、采样触发发生器、电机驱动器、微波脉冲触发器以及 IO 接口板。其中低纹波线性电源产生专门用于为 12 路前置超声放大器供电的 $\pm 6V$ 直流电源,该电源要求噪声小、纹波小,本方案采用 LM317/LM337 线性稳压集成电路和 NE5532 运算放大器组成的双电压伺服电源。开关电源(24V/3A)用于产生扫描步进电机和微波脉冲触发器所需要的 24V 直流功率电源。微波脉冲触发器用于产生一个 24V 电平的上升沿,微波脉冲调制器在该上升沿到来的时刻调制 2.45GHz 磁控管发射高功率微波脉冲。该脉冲包络经检波后进入采样触发器,采样触发器利用此包络信号产生一个 TTL-5V 电平标准的下降沿信号用于控制信号处理平台内的三张 PCI-1714U 数据采集卡对放大后的超声波信号进行同步采样。

[0068] 微波热致超声成像系统对样品有较好的成像检测能力,分辨率可以达到毫米量级。

[0069] 采取上述方式,就能较好地实现本发明。

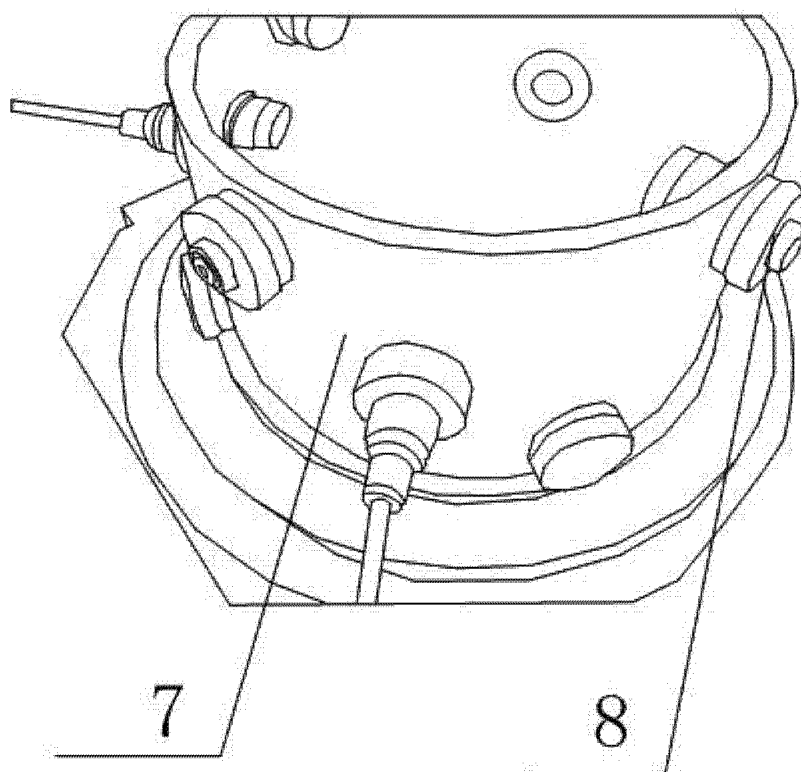


图 1

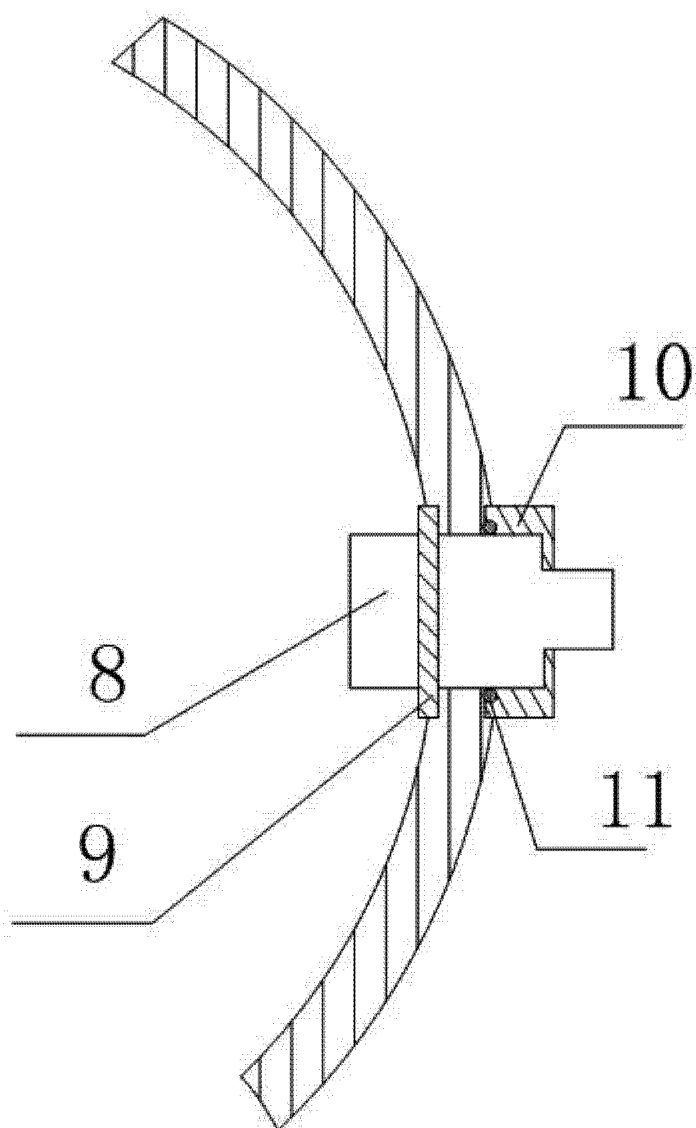


图 2

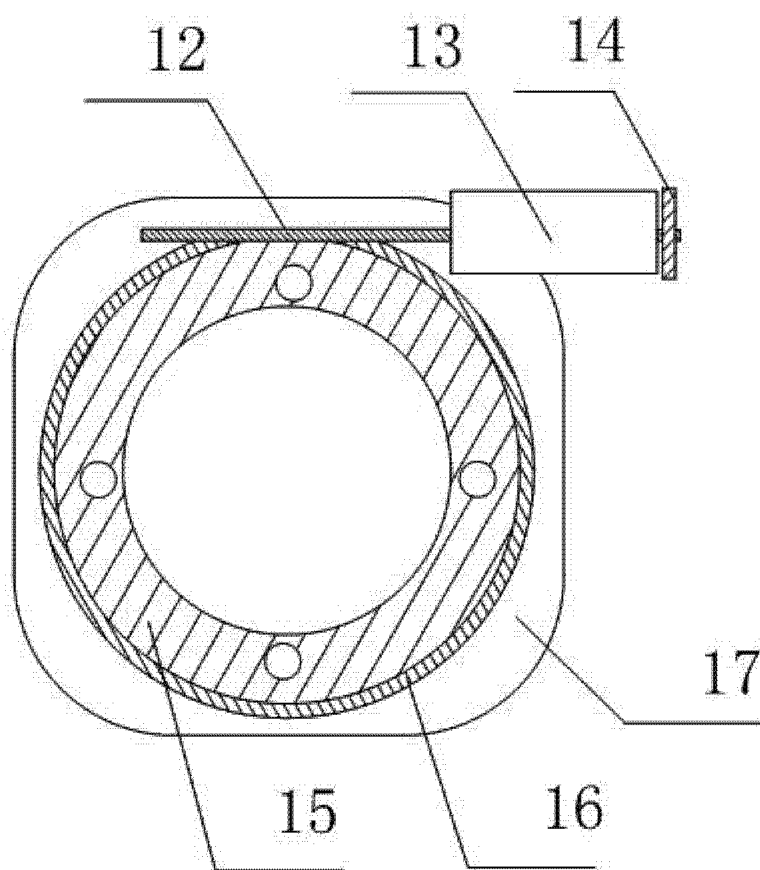


图 3

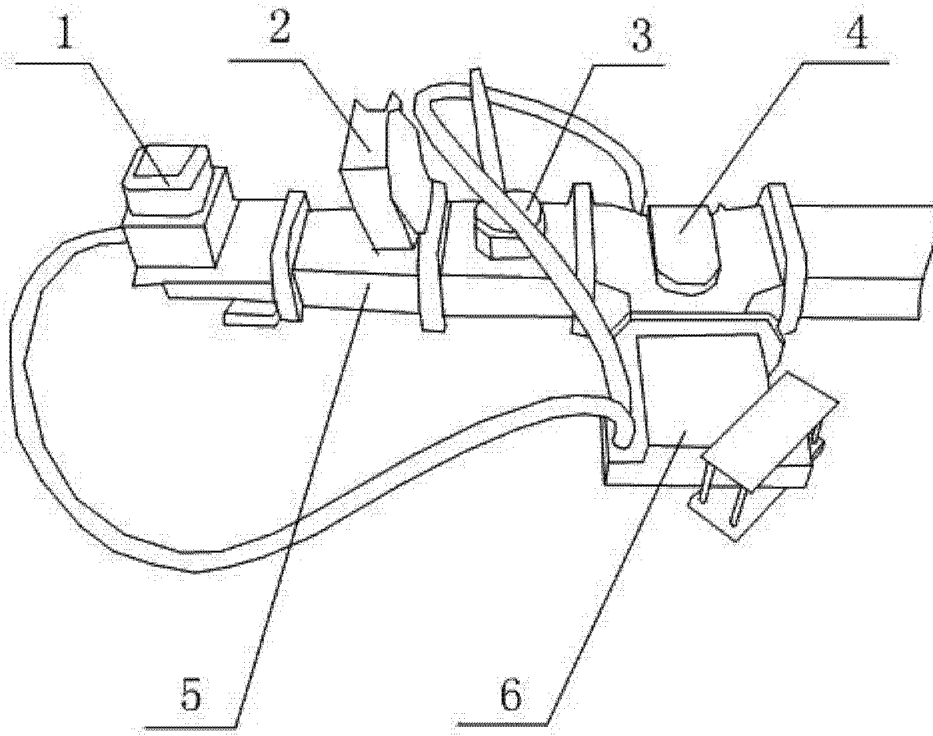


图 4

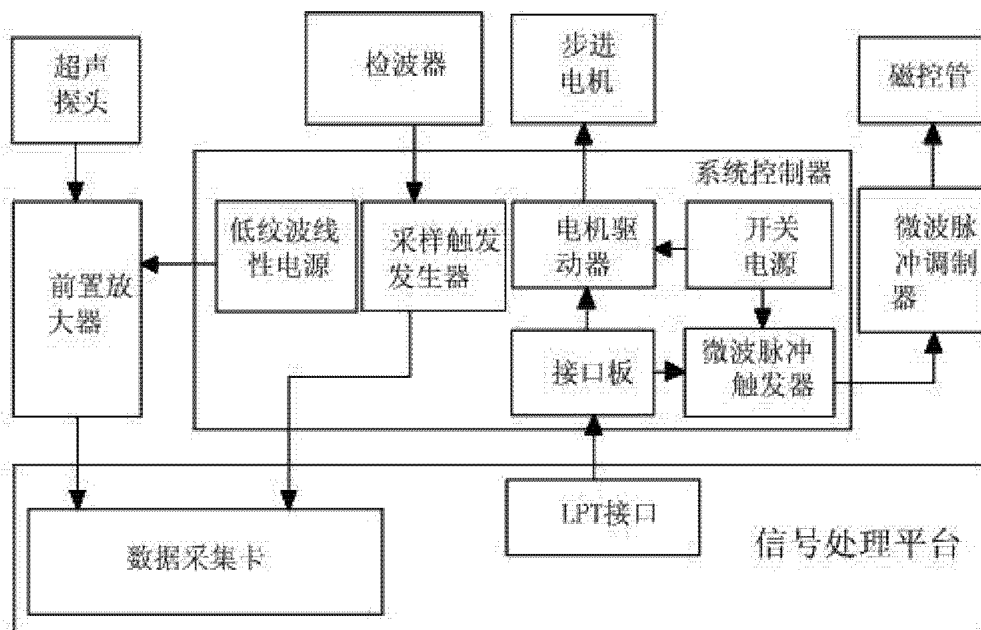


图 5

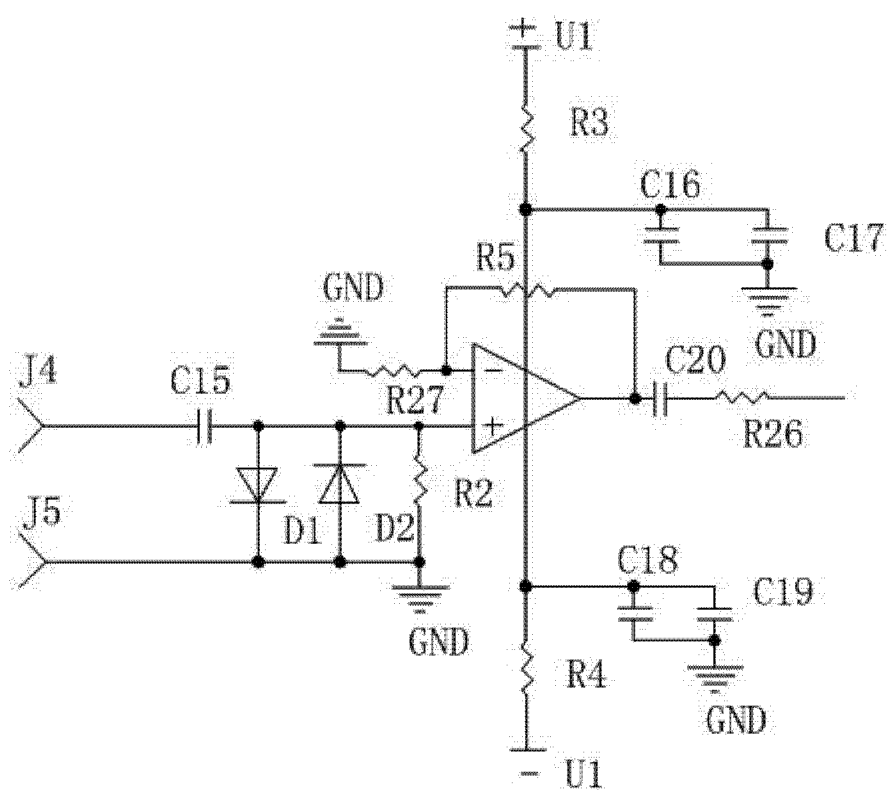


图 6

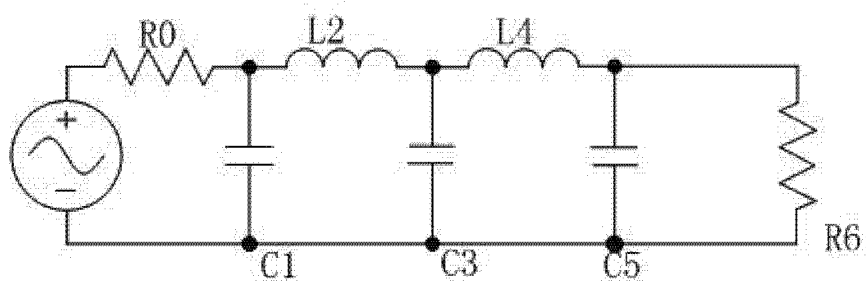


图 7

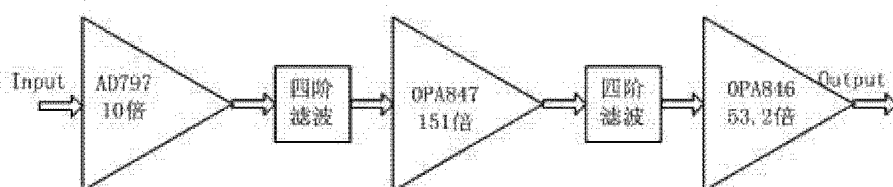


图 8

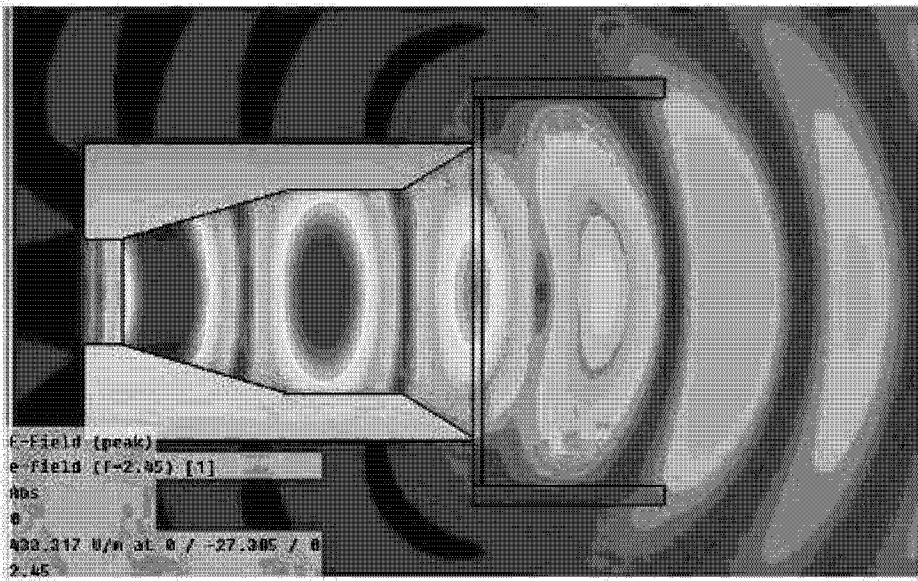


图 9

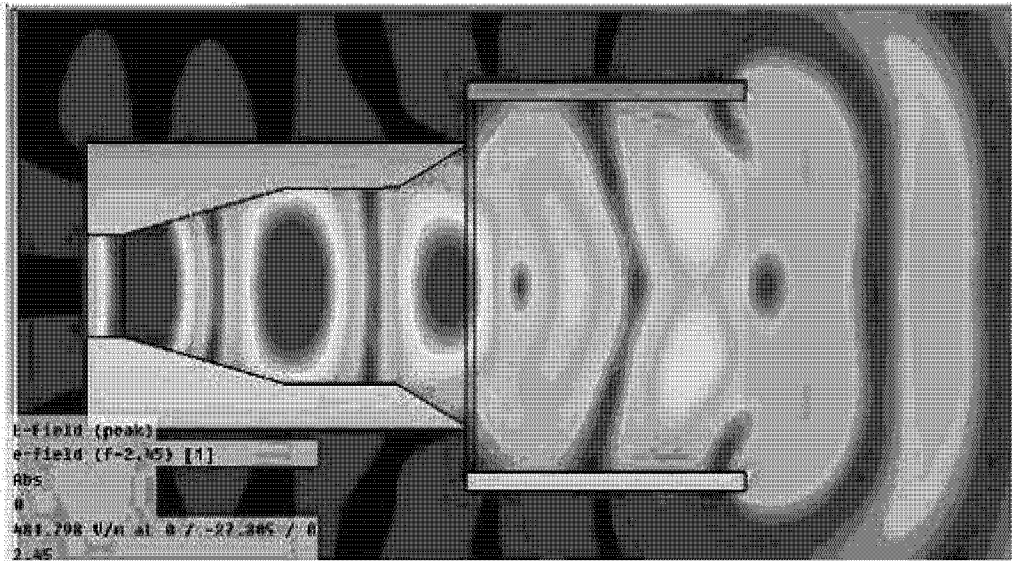


图 10

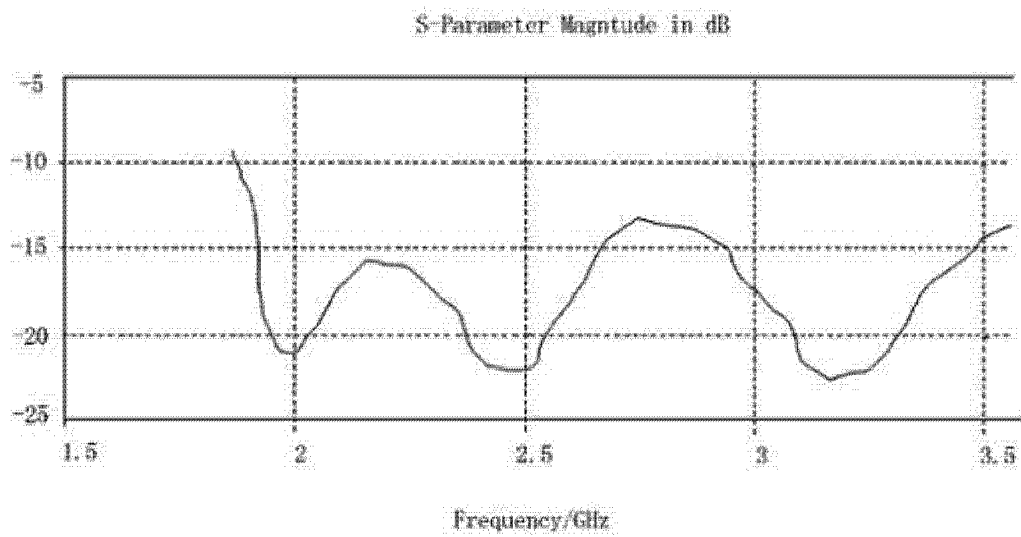


图 11

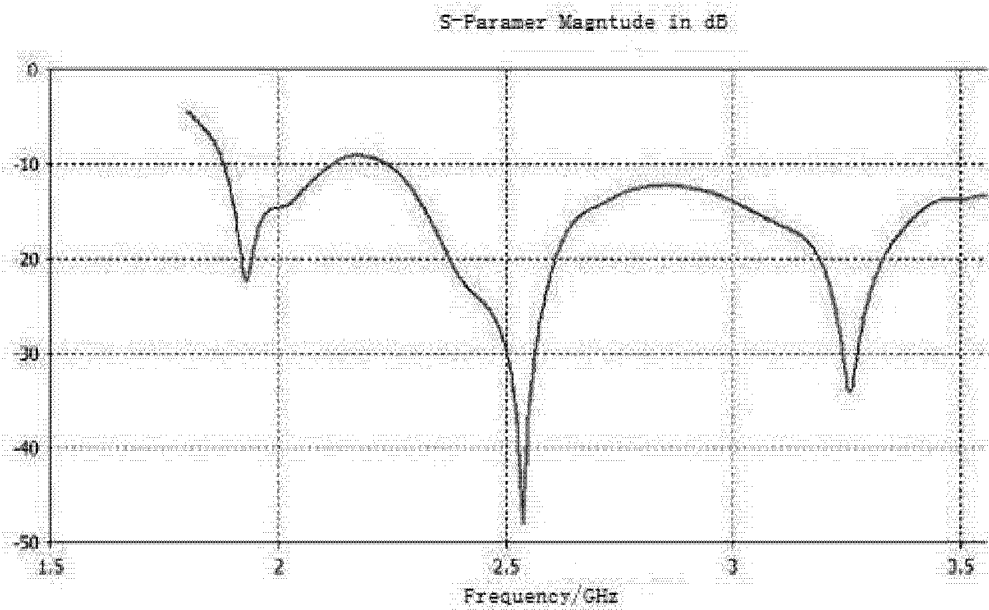


图 12

专利名称(译)	用于乳腺癌早期发现与诊断的微波热致超声成像系统		
公开(公告)号	CN102715916B	公开(公告)日	2013-10-30
申请号	CN201210163836.4	申请日	2012-05-24
[标]申请(专利权)人(译)	电子科技大学		
申请(专利权)人(译)	电子科技大学		
当前申请(专利权)人(译)	电子科技大学		
[标]发明人	赵志钦 朱晓章 柳清伙 聂在平 刘昱朗 牛骏 吴江牛 宋健 王金国		
发明人	赵志钦 朱晓章 柳清伙 聂在平 刘昱朗 牛骏 吴江牛 宋健 王金国		
IPC分类号	A61B8/00		
代理人(译)	谭新民		
审查员(译)	谢林		
其他公开文献	CN102715916A		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明公开了用于乳腺癌早期发现与诊断的微波热致超声成像系统，包括圆周扫描转台，所述圆周扫描转台内部设置有辐射天线，辐射天线上方设置有扫描碗，扫描碗设置在圆周扫描转台上方，所述扫描碗上设置有若干个超声探头；所述圆周扫描转台的下方设置有若干个前置放大器，所述前置放大器与超声探头连接。该成像系统利用了肿瘤组织和正常组织在电磁能量吸收率上的强烈对比度以及超声波的波长短成像分辨力高的优点，利用微波热致超声效应，将肿瘤组织在电磁波脉冲照射下转换为超声脉冲源并利用时间反转成像技术对肿瘤组织进行成像与定位，没有电离辐射危害，检测灵敏度和成像分辨率高于传统B超设备，是肿瘤检测领域前沿研究方向和设备发展方向。

