



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108398441 A

(43)申请公布日 2018.08.14

(21)申请号 201810136084.X

(22)申请日 2018.02.11

(71)申请人 杨厚荣

地址 710065 陕西省西安市雁塔区电子二路中段万国花园11幢2单元01号

(72)发明人 杨厚荣

(51)Int.Cl.

G01N 22/04(2006.01)

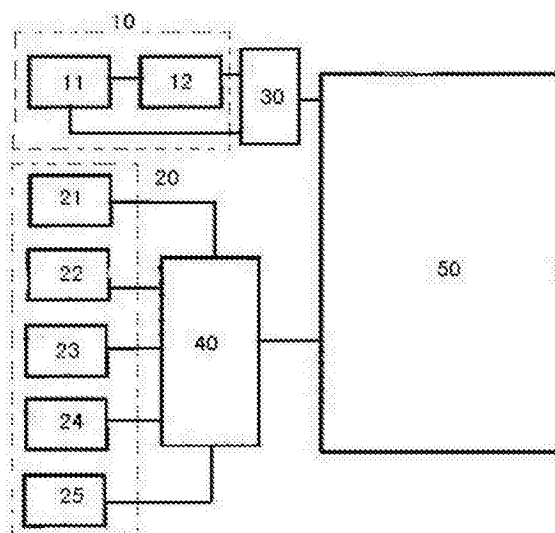
权利要求书3页 说明书4页 附图3页

(54)发明名称

在线非接触式微波雷达水分仪及其测量方法实现

(57)摘要

一种在线非接触式微波雷达水分仪,用于不规则成型的静止或运动混合介质实时在线水分含量检测,其特征为至少有但不局限5个部分组成,见结构组成图1;1:天线组件部分(10),至少包括一对天线(11)和(或)数对矩阵天线、射频同轴继电器、同轴跳线,和激励信号隔离器(12),主要完成被测点单点或多点的水分信息的获得;2:多传感器组件部分(20),用于获取被测介质点的温度模块(21),位置模块(22),厚度(23),环境湿度(24),介质密度(25)以及其他相关传感器模块;3:矢量检测模块部分(30);4:多传感器融合部分(40);5:水分仪表(50)既是人机操作对话显示窗口,又是对外联络的各种接线装置。



1. 一种在线非接触式微波雷达水分仪, 以下简称水分仪, 主要用于不规则成型的静止或运动混合介质的实时在线的水分含量检测, 其特征为至少有但不局限5个部分组成, 见结构组成图1, 1: 天线组件部分 (10), 也叫水分信号采集部分, 至少包括一对天线 (11) 和 (或) 数对矩阵天线、射频同轴继电器、同轴跳线, 和激励信号隔离器 (12), 主要完成被测点单点或多点的水分信息的获得, 即输出激励信号的微波物理参数和获取穿透被测介质后透射损失的微波物理参数; 输出激励信号由矢量检测模块输出, 由射频同轴电缆跳线传送给隔离器, 再由同轴电缆跳线传送给射频同轴继电器, 最后输出到发射天线, 接收信号则由接收天线经同轴电缆跳线到射频同轴继电器, 再由同轴电缆跳线到矢量检测模块接收端, 对单点检测而言、直接同轴电缆跳线短接射频同轴继电器, 完成水分信号采集; 2: 多传感器组件部分 (20), 它由多个传感器模块组成用于获取被测介质点的温度模块 (21), 位置模块 (22), 厚度 (23), 环境湿度 (24), 介质密度 (25) 以及其他相关传感器模块; 3: 矢量检测模块部分 (30), 由微波源和微波信号处理电路组成, 一边由同轴电缆跳线和水信号采集部分连接另一边与水分仪表内电路连接, 完成水分信号的采集处理和信号激励, 通过对接收和发送微波信号的比较求出与水分相关的衰减大小和相位大小; 4: 多传感器融合部分 (40), 主要完成温度, 位置, 厚度, 环境湿度, 介质密度以及其他相关传感器信号的标定和修正, 为提供水分仪表提供准确信号; 5: 水分仪表 (50) 既是人机操作对话显示窗口, 又是对外联络的各种接线装置, 表头内包括端子板、测量电路板、主控板、显示板和键盘板等电路, 其中端子板内除电路和矢量检测模块部分 (30) 及多传感器融合部分 (40) 连接外还连接对应的隔爆用安全栅模块, 端子板外接包含但不局限于至少1路供电端子、至少1路变送输出端子, 至少1路通讯端子, 至少1对水分含量高低告警端子等; 水分仪表 (50) 外还配置一支磁笔, 供人机操作对话使用。

2. 所述的水分仪的天线件组件部分 (10), 多传感器组件部分 (20), 共同处在同一工况环境中长期在线工作, 同时检测相对应的参数, 完成对水分参数的测量、修正或补充, 用于完善水分分析仪的精确描述; 应由耐压, 耐温, 耐酸碱, 耐磨, 耐腐蚀材料构成, 必要时喷涂保护外皮, 有防潮, 防尘, 防雷电等安防设计。

3. 所述在线浸入式微波雷达水分仪测量方法在以下文中简称水分仪测量方法, 其特征在于: 利用一对或多对雷达天线向被介质激励电磁波, 同时由天线接收经介质反射的回波, 利用电磁波在介质中传播时, 其路径、电磁场强度与波形将随所通过介质的电性质及磁场性质的变化差异, 根据接收到的回波相位、功率幅度等信息, 来探测介质受含水大小影响的物理参数并拟和出含水含量的大小。其水分仪测量方法见图2; 其传感器实时感知介质的物理特性并传递给DSP为核心的信号处理电路并拟合出水分实时信息和工况信息, 水分仪通过表头人机操作界面完成就地标检修正传感器, 获得传感器测量的水分值和其他相关值并显示; 和或通过水分仪的通讯口和PC机进行通讯, 和预装在PC机上的ICVS软件对水分仪进行建标修正, 并将建标结果存储到传感器中, 最后, PC机可获得传感器测量的水分值和其他值, 使探测结果一目了然, 对测量结果分析、判读直观方便, 经后期拓展应用后, 探测精度更高、样点更密、工作效率更高而倍受各行业的关注, 在物联网的应用领域内正在不断扩展。

4. 所述水分仪参数相位和衰减是通过近似真分析来进行拟合成分水的, 其线性标定见公式 (1), 其平方标定见公式 (2), 其中W-水分值, A, B, C标定系数, ϕ 相位, D衰减, $|\phi|$ 相位绝对值, $|D|$ 衰减绝对值, $\arg(\phi)$ 相位代数符号, $\arg(D)$ 衰减代数符号,

$$W=A \phi +BD+C \quad (1)$$

$$W=A_1 \cdot \phi +(A_2 \cdot |\phi|^2) \cdot \arg (\phi)+B_1 \cdot D+(B_2 \cdot |D|^2) \cdot \arg (D)+C \quad (2)$$

所述水分仪参数相位和衰减是通过近似真分析来进行拟合成分的,上述公式(1),公式(2)可以简化成纯粹的相位或衰减测量算法,只是简单地获取相位或衰减而不必同时获取相位和衰减参与运算。

5.所述水分仪,为了解决疏密度不均,造成测量误差大而引入与密度无关的测量算法,其特征在于已知激励频率F,得出波长 λ ,检测相位(弧度) ϕ ,衰减D,检测介质距离d,介质密度为 ρ , α 为衰减常数, β 为相位常数,根据微波入射有耗介质的相关原理和近似条件,得出如下公式(3):

$$\alpha =abs(\frac{D}{d}), \quad \beta =\frac{\phi}{(d+\beta_0)}, \beta_0 =2\pi / \lambda \quad (3)$$

$$\text{并求出 } \varepsilon_r' = (\frac{\beta}{\beta_0})^2, \quad \varepsilon_r'' = \frac{2\alpha\beta}{\beta_0^2}$$

在确定的测量介质品种,密度 ρ 和频率F条件下

$$\frac{\varepsilon_r'}{\rho}, \quad \frac{\varepsilon_r''}{\rho} \text{ 的关系满足线性关系式 (4)}$$

$$\frac{\varepsilon_r''}{\rho} = A_f (\frac{\varepsilon_r'}{\rho} - k) \quad (4)$$

使用最小二乘法计算出斜率 A_f 和截距 k

$$\text{则 } \rho = \frac{A_f \varepsilon_r' - \varepsilon_r''}{A_f k}$$

定义损耗角 δ 的正切值 $\tan \delta$ 和密度 ρ 的比值为算子 ξ ,

$$\text{则 } \xi = \frac{\tan \delta}{\rho} = \frac{A_f k}{(A_f \varepsilon_r' - \varepsilon_r'')} \cdot \frac{\varepsilon_r''}{\varepsilon_r'}$$

$$\text{简化后得: } \xi = \frac{\varepsilon_r''}{(A_f \varepsilon_r' - \varepsilon_r'')}$$

也求得复介电常数 ε_p

$$\varepsilon_p = (\varepsilon_p' - \varepsilon_p'')$$

则复介电常数 ε_p' 与 $\sqrt{\xi}$ 有关系式(5)

$$\sqrt{\xi} = \sqrt{\frac{\varepsilon_p''}{\varepsilon_p' (A_f \varepsilon_p' - \varepsilon_p'')}} \quad (5)$$

通过对实验数据的分析后发现 $\sqrt{\xi}$ 和介质的水分含量W,介质温度T近似成线性关系,见式(6)

$$\sqrt{\xi} = aT + bW + c \quad (6)$$

使用最小二乘法计算出常量a,b,c,根据所确定得参数 A_f 和截距k,以及a,b,c,和检测到的介质厚度d温度T,相位(弧度) ϕ ,衰减D,经数据处理得到复介电常数与密度无关的量算

子 ξ ,在线计算温度 T 下的介质水分含量 W ,

即式(7)

$$W = \frac{\sqrt{\xi - aT - c}}{b} \quad (7)$$

该方法不需在线检测介质的密度,但借助离线数据推导相应的关系量,很好解决固体介质疏密度不均,引起的测量误差。

6.所述在线浸入式微波雷达水分仪测量方法实现在以下文中简称水分仪测量方法实现,其特征在于:采用锁相环PLL和自动电平控制ALC技术来构成微波频段的信号发射器部分,而且接收部分是采用了超外差模式;整个电路由收发两部分组成,其核新部件是将关键部分的电路部件收发鉴相、鉴幅器作为一个可替换的模块形式嵌入在整个收发模块中,而矢量参数的相位和幅度测量精度也由这些部件所决定,见图3:微波源和信号处理电路图所示,主要提供微波X波段8-12GHZ的扫描频率和20-30DB的功率调整范围的微波激励信号,同时完成反射信号幅度和相位变化的检测。

在线非接触式微波雷达水分仪及其测量方法实现

(一) 技术领域

[0001] 雷达(Radar)测水技术是近年来应用于浅层地质构造、岩性检测的一项新技术,其特点是快速、无损、连续检测。微波雷达水分传感器依据电磁波的传播理论、雷达测量原理及方法确定在不同介质中含水量的大小与其在传播中有关信号的相位和功率变化的对应关系,以此建立模型,并完成介质含水量大小的动态检测和计量。该技术属于光机电一体化领域中高性能、智能化仪器仪表中的面向行业的配套的水分传感器及其分析仪器仪表。

(二) 背景技术

[0002] 微波非接触测量技术属于低功率微波能量检测的应用范畴,其基本原理是以微波作为信息传递的媒介,根据被测物料对微波有辐射、反射、透射、散射、干涉、衍射、谐振和多卜勒效应等物理特性,利用对非电量有敏感响应的微波水分传感器将待测物件的非电量转换成微波电参量的变化进行测量。微波最大的优点就是可以通过空间辐射的方式穿过介质的内部,测量过程中传感器可以不与被测物质接触,非常适合于工业生产的在线检测。对于不规则的静止或运动介质的水分在线监测,选用微波非接触测量技术显然式必要的。微波非接触测量的精度高,可靠性好,抗干扰能力强,容易实现无损耗、实时、在线快速测量,又无辐射危险,操作和使用非常安全,适用工业物联应用的需求,因此微波非接触测量技术有着极其广阔的应用前景。

(三) 发明内容

[0003] 本发明提出一种在线非接触式微波雷达水分仪及其测量方法并实现产品应用。

[0004] 本发明技术方案:

[0005] 1、一种在线非接触式微波雷达水分仪,以下简称水分仪,主要用于不规则成型的静止或运动混合介质的实时在线的水分含量检测,其特征为至少有但不局限5个部分组成,见结构组成图1。1:天线组件部分(10),也叫水分信号采集部分,至少包括一对天线(11)和(或)数对矩阵天线、射频同轴继电器、同轴跳线,和激励信号隔离器(12),主要完成被测点单点或多点的水分信息的获得,即输出激励信号的微波物理参数和获取穿透被测介质后透射损失的微波物理参数;输出激励信号由矢量检测模块输出,由射频同轴电缆跳线传送给隔离器,再由同轴电缆跳线传送给射频同轴继电器,最后输出到发射天线,接收信号则由接收天线经同轴电缆跳线到射频同轴继电器,再由同轴电缆跳线到矢量检测模块接收端,对单点检测而言、直接同轴电缆跳线短接射频同轴继电器,完成水分信号采集。2:多传感器组件部分(20),它由多个传感器模块组成用于获取被测介质点的温度模块(21),位置模块(22),厚度(23),环境湿度(24),介质密度(25)以及其他相关传感器模块。3:矢量检测模块部分(30),由微波源和微波信号处理电路组成,一边由同轴电缆跳线和水份信号采集部分连接另一边与水分仪表内电路连接,完成水分信号的采集处理和信号激励,通过对接收和发送微波信号的比较求出与水分相关的衰减大小和相位大小。4:多传感器融合部分(40),主要完成温度,位置,厚度,环境湿度,介质密度以及其他相关传感器信号的标定和修正,为

提供水分仪表提供准确信号。5:水分仪表(50) 既是人机操作对话显示窗口,又是对外联络的各种接线装置,表头内包括端子板、测量电路板、主控板、显示板和键盘板等电路,其中端子板内除电路和矢量检测模块部分(30)及多传感器融合部分(40)连接外还连接对应的防爆用安全栅模块,端子板外接包含但不局限于至少1路供电端子、至少1路变送输出端子,至少1路通讯端子,至少1对水分含量高低告警端子等;水分仪表(50)外还配置一支磁笔,供人机操作对话使用。

[0006] 2、所述的水分仪的天线件组件部分(10),多传感器组件部分(20),共同处在同一工况环境中长期在线工作,同时检测相对应的参数,完成对水分参数的测量、修正或补充,用于完善水分分析仪的精确描述;应由耐压,耐温,耐酸碱,耐磨,耐腐蚀材料构成,必要时喷涂保护外皮,有防潮,防尘,防雷电等安防设计。

[0007] 3、所述在线浸入式微波雷达水分仪测量方法在以下文中简称水分仪测量方法,其特征在于:利用一对或多对雷达天线向被介质激励电磁波,同时由天线接收经介质反射的回波,利用电磁波在介质中传播时,其路径、电磁场强度与波形将随所通过介质的电性质及磁场性质的变化差异,根据接收到的回波相位、功率幅度等信息,来探测介质受含水大小影响的物理参数并拟和出含水含量的大小。其水分仪测量方法见图2;其传感器实时感知介质的物理特性并传递给DSP 为核心的信号处理电路并拟合出水分实时信息和工况信息,水分仪通过表头人机操作界面完成就地标检修正传感器,获得传感器测量的水分值和其他相关值并显示;和或通过水分仪的通讯口和PC机进行通讯,和预装在PC机上的ICVS 软件对水分仪进行建标修正,并将建标结果存储到传感器中,最后,PC机可获得传感器测量的水分值和其他值,使探测结果一目了然,对测量结果分析、判读直观方便,经后期拓展应用后,探测精度更高、样点更密、工作效率更高而倍受各行业的关注,在物联网的应用领域内正在不断扩展。

[0008] 4、所述水分仪参数相位和衰减是通过近似真分析来进行拟合成水分的。其线性标定见公式(1),其平方标定见公式(2),其中W-水分值,A,B,C标定系数, ϕ 相位,D衰减, $|\phi|$ 相位绝对值, $|D|$ 衰减绝对值, $\arg(\phi)$ 相位代数符号, $\arg(D)$ 衰减代数符号。

[0009] $W=A\phi+BD+C$ (1)

[0010] $W=A_1 \cdot \phi + (A_2 \cdot |\phi|^2) \cdot \arg(\phi) + B_1 \cdot D + (B_2 \cdot |D|^2) \cdot \arg(D) + C$ (2)

[0011] 所述水分仪参数相位和衰减是通过近似真分析来进行拟合成水分的,上述公式(1),公式(2)可以简化成纯粹的相位或衰减测量算法,只是简单地获取相位或衰减值而不必同时获取相位和衰减参与运算。

[0012] 5、所述水分仪,为了解决疏密度不均,造成测量误差大而引入与密度无关的测量算法,其特征在于已知激励频率F,得出波长 λ ,检测相位(弧度) ϕ ,衰减D,检测介质距离d,介质密度为 ρ , α 为衰减常数, β 为相位常数,根据微波入射有耗介质的相关原理和近似条件,得出如下公式(3):

$$[0013] \quad \alpha = \text{abs}\left(\frac{D}{d}\right), \quad \beta = \frac{\phi}{(d + \beta_0)}, \quad \beta_0 = 2\pi / \lambda \quad (3)$$

$$[0014] \quad \text{并求出 } \varepsilon_r' = \left(\frac{\beta}{\beta_0}\right)^2, \quad \varepsilon_r'' = \frac{2\alpha\beta}{\beta_0^2}$$

[0015] 在确定的测量介质品种,密度 ρ 和频率 F 条件下

[0016] $\frac{\varepsilon_r'}{\rho}$, $\frac{\varepsilon_r''}{\rho}$ 的关系满足线性关系式(4)

$$[0017] \quad \frac{\varepsilon_r''}{\rho} = A_f \left(\frac{\varepsilon_r'}{\rho} - k \right) \quad (4)$$

[0018] 使用最小二乘法计算出斜率 A_f 和截距 k

$$[0019] \quad \text{则 } \rho = \frac{A_f \varepsilon_r' - \varepsilon_r''}{A_f k}$$

[0020] 定义损耗角 δ 的正切值 $\tan \delta$ 和密度 ρ 的比值为算子 ξ ,

$$[0021] \quad \text{则 } \xi = \frac{\tan \delta}{\rho} = \frac{A_f k}{(A_f \varepsilon_r' - \varepsilon_r'')} \cdot \frac{\varepsilon_r''}{\varepsilon_r'}$$

$$[0022] \quad \text{简化后得: } \xi = \frac{\varepsilon_r''}{(A_f \varepsilon_r' - \varepsilon_r'')}$$

[0023] 也求得复介电常数 ε'_p

$$[0024] \quad \varepsilon_p = (\varepsilon'_p - \varepsilon''_p)$$

[0025] 则复介电常数 ε'_p 与 $\sqrt{\xi}$ 有关系式(5)

$$[0026] \quad \sqrt{\xi} = \sqrt{\frac{\varepsilon''_p}{\varepsilon'_p (A_f \varepsilon'_p - \varepsilon''_p)}} \quad (5)$$

[0027] 通过对实验数据的分析后发现 $\sqrt{\xi}$ 和介质的水分含量 W ,介质温度 T 近似成线性关系,见式(6)

$$[0028] \quad \sqrt{\xi} = aT + bW + c \quad (6)$$

[0029] 使用最小二乘法计算出常量 a, b, c ,根据所确定得参数 A_f 和截距 k ,以及 a, b, c ,和检测到的介质厚度 d 温度 T ,相位(弧度) Φ ,衰减 D ,经数据处理得到复介电常数与密度无关的量算子 ξ ,在线计算温度 T 下的介质水分含量 W

[0030] 即式(7)

$$[0031] \quad W = \frac{\sqrt{\xi} - aT - c}{b} \quad (7)$$

[0032] 该方法不需在线检测介质的密度,但借助离线数据推导相应的关系量,很好解决固体介质疏密度不均,引起的测量误差。

[0033] 6、所述在线浸入式微波雷达水分仪测量方法实现在以下文中简称水分仪测量方法实现,其特征在于:采用锁相环PLL和自动电平控制ALC技术来构成微波频段的信号发射器部分,而且接收部分是采用了超外差模式;整个电路由收发两部分组成,其核新部件是将关键部分的电路部件收发鉴相、鉴幅器作为一个可替换的模块形式嵌入在整个收发模块中,而矢量参数的相位和幅度测量精度也由这些部件所决定,见图3:微波源和信号处理电路图所示。主要提供微波X波段8-12GHZ的扫描频率和20-30DB的功率调整范围的微波激励信号,同时完成反射信号幅度和相位变化的检测。

[0034] 本发明优点:

[0035] 水分仪人机界面是用标准的工业电脑来实现,或者工业单板机微电脑系统。一个友好的用户操作目录在软件包里,通过一个控制系统可以连接多达128台测量仪到一个处理器。对仪表来说,所有的测试结果是以大的字母显示在一个LCD 监视器上。在几米处就可以用图形的形式显示,显示的表格提供非常有用的比较功能,用于“在线”观察生产过程的稳定性。也可用于在不用的时间段显示复合图,时间间隔可以从一小时到一个月。记录者或操作者可以通过远程调控来操作。更可以通过4-20mA,RS232,RS485或者Prof i-Bus在组网,有线或无线远传,甚至支持光纤传输。

[0036] 安装方式灵活:可以安装在不同的应用环境,例如管道中(非金属),容器中,漏斗和输送带。在一般情况下,微波水分仪需要配置一个非接触的超声厚度补偿探头在介质上方,用于补偿车载物料的高度变化。

[0037] 应用行业广泛,主要应用在木材行业,食品行业,造纸行业,制药行业,化工行业,玻璃行业,电力行业,石油行业。

[0038] 适应测量所有有耗介质:1) 矿产类,矿山和冶金,烧结混合料,焦炭,煤块,焦煤,泥煤,热煤,煤粉,锌矿,精矿,铜矿,镍矿,铝烧结矿,球团矿,土矿,矿物沙,膨润土,有色金属,氧化铝铜,银,铅,锌冶炼,钢铁等;2) 烟草,烟包,烟叶,烟丝,烟枝,烟梗等;3) 食品,乳酪,奶油,人工奶酪,膨化食品,天然奶酪,复烤,奶粉,铜肉制品;4) 粮食加工,小麦,玉米,高粱,谷制品,面粉,烤制品,面包,蛋糕,饼干,糖果,砂糖,饲料,5) 各种生物质燃料,废纸,稻壳,锯木,棉花,饲料,垃圾等。

[0039] 主要特点:

[0040] ①采用微波雷达探测技术,不受颜色和工况环境因素影响;

[0041] ②实时测量,速度快,响应快(小于毫秒级);

[0042] ③内置多种传感器测量和多参数补偿修正,便于高精度测量;

[0043] ④采用特殊工艺材质,防腐,防锈,耐磨,防粘;

[0044] ⑤没有可动部件,降低维护和提高可靠性;

[0045] ⑥满足现场的防爆(Ex Ia/d IIC T4~T6Ga/Gb)和防护(IP68)等级,通过 CE、IP68、RoHS认证;

[0046] ⑦内建自诊断和报警功能,帮助快速确定仪表故障;

[0047] ⑧至少1路16位精度4-20mA模拟输出,可选SPST继电器输出;

[0048] ⑨至少1线RS-485物理接口,ModBus-RTU通讯协议;

[0049] ⑩可定制多种传感器规格,满足各种介质应用要求;

[0050] ⑪带提示功能 and 无接触,免拆卸的操作界面,易于现场使用;

[0051] ⑫可置后台无线远传,远程组网,图示和文本显示,记录水分变化和温度变化对应的历史实时值,提供远程建模和远程标检支持。

(四)附图说明

[0052] 附图1:结构组成示图;

[0053] 附图2:仪测量方法示图;

[0054] 附图3:微波源和信号处理电路示图。

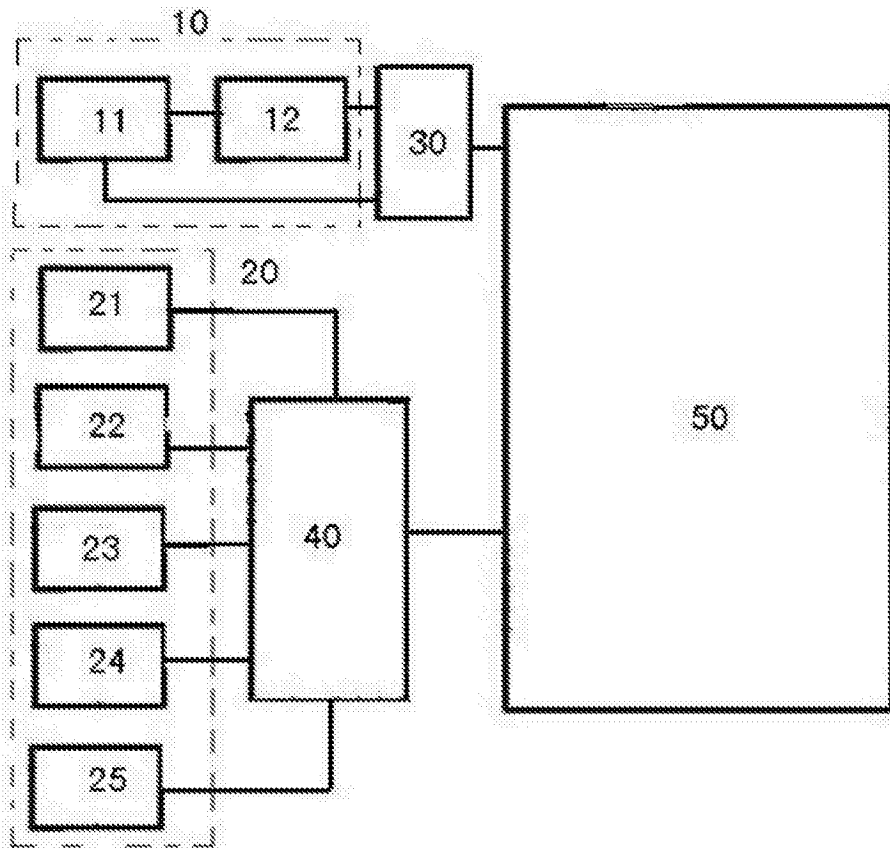


图1

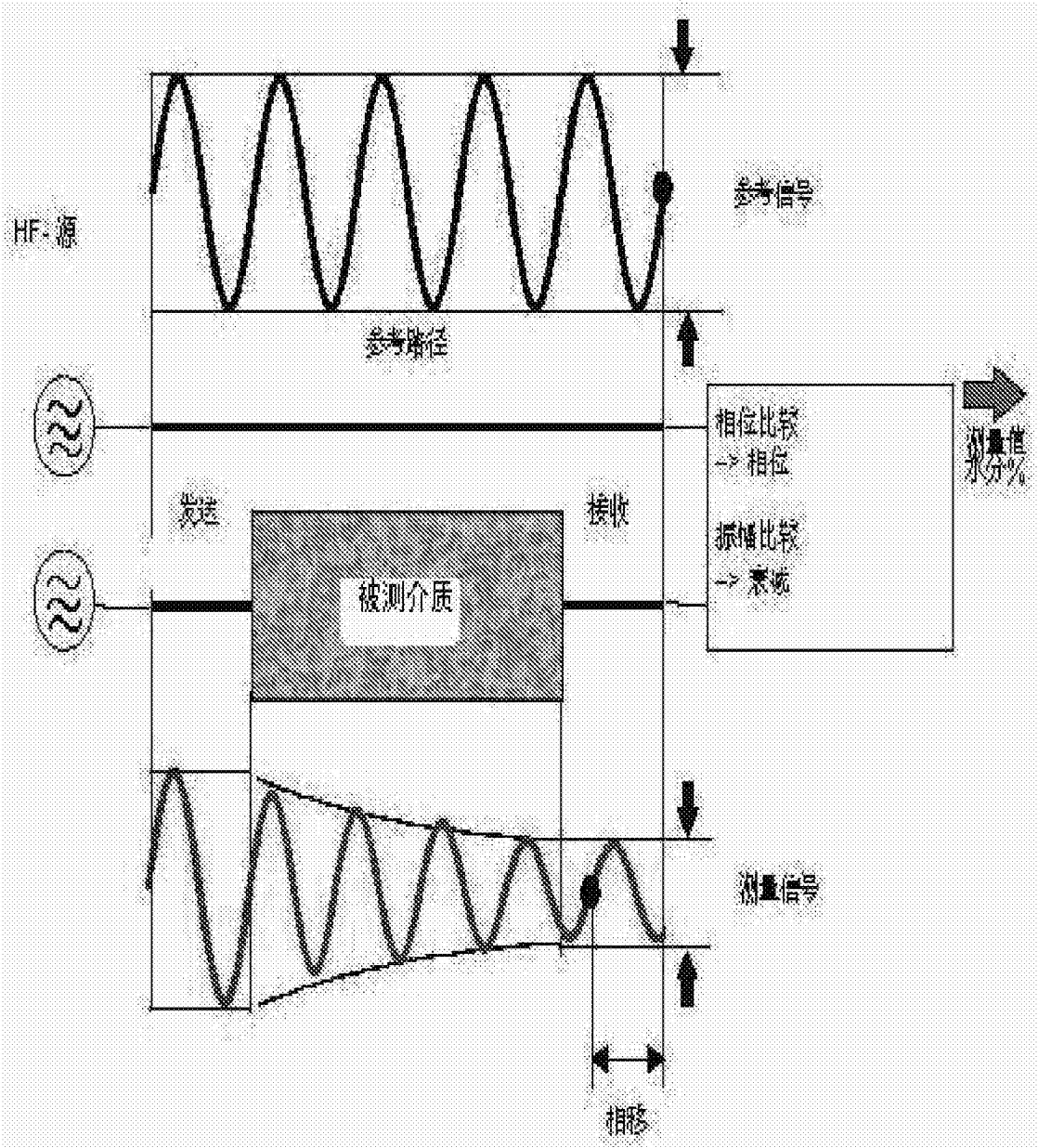


图2

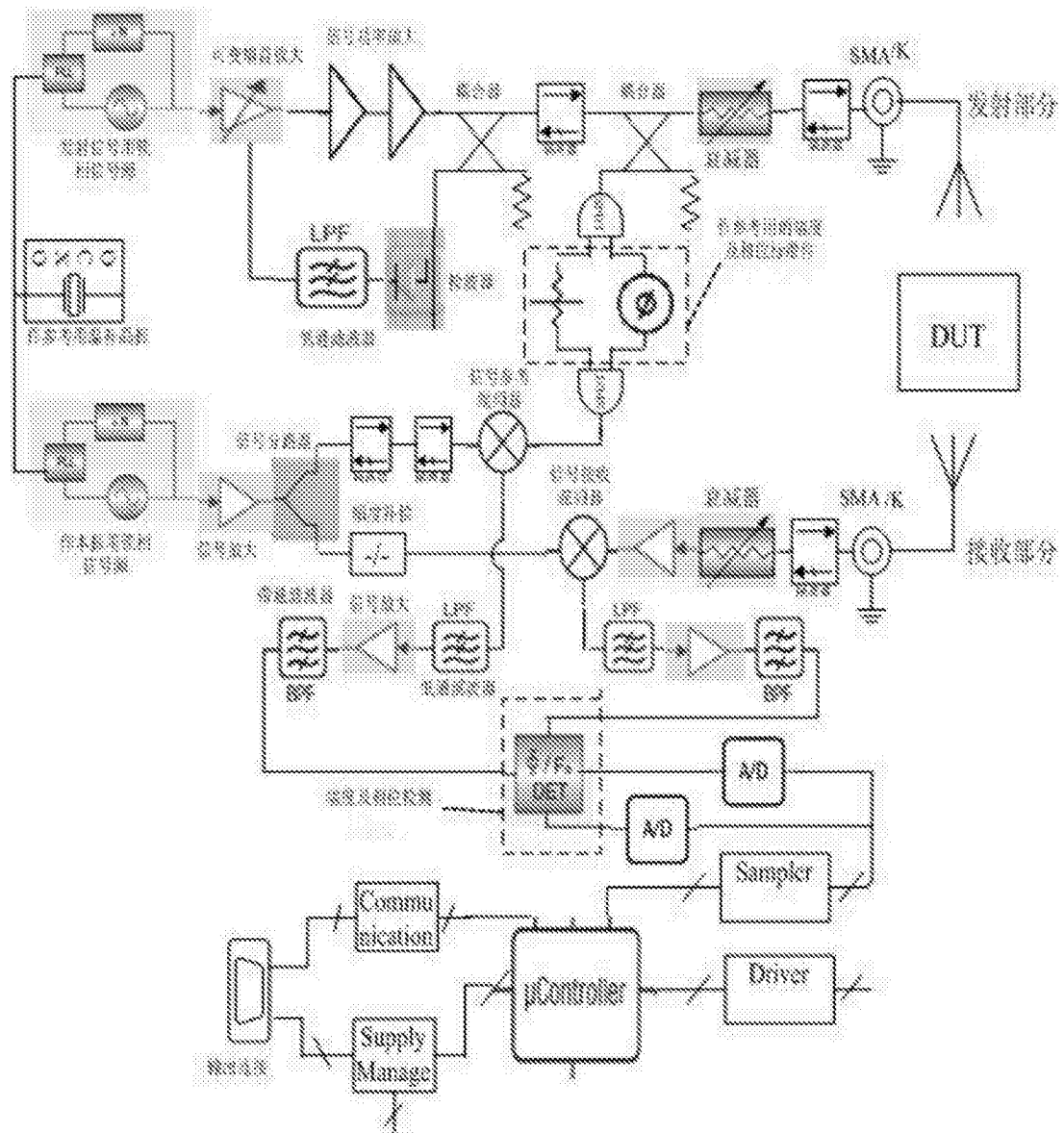


图3