

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101365966 B

(45) 授权公告日 2013. 06. 19

(21) 申请号 200680030365. 2

(22) 申请日 2006. 06. 06

(30) 优先权数据
0512563. 8 2005. 06. 20 GB

(85) PCT申请进入国家阶段日
2008. 02. 20

(86) PCT申请的申请数据
PCT/GB2006/002048 2006. 06. 06

(87) PCT申请的公布数据
W02006/136775 EN 2006. 12. 28

(73) 专利权人 无线电探测有限公司
地址 英国布里斯托尔

(72) 发明人 史蒂夫·本齐亚 理查德·皮尔森

(74) 专利代理机构 北京金信立方知识产权代理有限公司 11225
代理人 黄威 徐金伟

(51) Int. Cl.
G01V 3/08 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 4675606 A, 1987. 06. 23, 说明书第 2 栏第 65 行至第 3 栏第 4 行以及图 1.

DE 19815342 A1, 1999. 11. 25, 说明书第 5 栏第 26-40 行.

US 5592092 A, 1997. 01. 07, 全文.

WO 03/071311 A1, 2003. 08. 28, 说明书第 1 页第 7 行至第 7 页第 10 行以及图 1-4.

US 5621325 A, 1997. 04. 15, 全文.

CN 2676314 Y, 2005. 02. 02, 全文.

审查员 宋洁

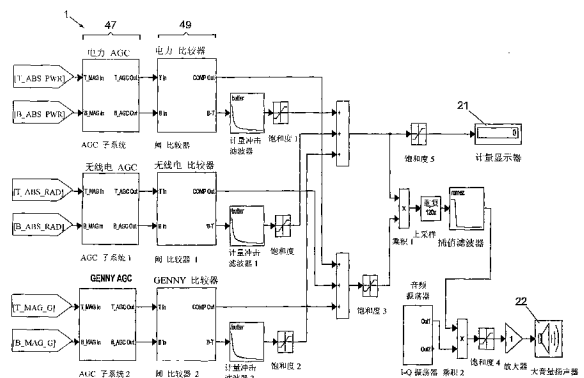
权利要求书1页 说明书8页 附图5页

(54) 发明名称

探测载流导体的方法及设备

(57) 摘要

一种用于探测载流导体的探测器 (1), 其以一个或多个无源或有源模式来确定载流导体的存在。在无源模式中, 探测器 (1) 探测从导体再辐射的超低频无线电信号或者由导体产生的电磁辐射, 这是所述导体或附近的导体中承载的电源电压的结果。在有源模式中, 来自专用信号发生器的交变信号耦合至埋地导体。在探测器 (1) 的一对天线 (3, 5) 中会感应信号, 且所述信号在这些模式中的每个中被同时处理。如果这些模式中的任一个探测到载流导体, 则所述模式中的每个的输出被卷积以产生音频和 / 或视觉警报。



CN 101365966 B

1. 一种使用便携式的、能手动移动的探测器探测埋地载流导体的方法,包括:

利用邻近所述埋地载流导体并且在地面上方的磁性传感器(3,5)来产生第一和第二相应的场强信号(9),每个所述场强信号与由所述导体产生的已知频带的电磁场的强度成比例;

对所述第一和第二场强信号(9)进行采样,以分别产生第一和第二数字信号(13);

处理所述第一和第二数字信号(13),以离析所述已知频带的相应的第一和第二信号;

处理所述离析的第一和第二信号,以产生表示所述载流导体到所述相应的磁性传感器的接近程度的信号;及

产生与表示所述载流导体的所述接近程度的信号的大小成比例的音频和/或视觉警报;

其中用两个或更多不同的频带同时处理所述第一和第二数字信号。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中所述不同的频带为:

(i) 超低频带;

(ii) 电源电力频带;及

(iii) 由专用信号发射器产生的预定频带。

3. 一种用于探测埋地载流导体的便携式的、能手动移动的探测器(1),包括:

两个间隔开的磁性传感器(3,5),用于将来自所述导体的电磁辐射转换为相应的第一和第二场强信号(9),所述第一和第二场强信号(9)各与由所述导体产生的已知频带的电磁场的强度成比例;

用于对所述第一和第二场强信号(9)进行采样以产生相应的第一和第二数字信号(13)的装置(11);

用于处理所述第一和第二数字信号(13)以离析所述已知频带的相应的第一和第二信号的装置(15);

用于处理所述离析的第一和第二信号以产生表示所述载流导体到所述磁性传感器(3,5)的接近程度的信号的装置(15);

用于产生与表示所述载流导体的接近程度的信号的大小成比例的音频和/或视觉警报的装置;

其中用两个或更多不同的频带同时处理所述第一和第二数字信号。

4. 根据权利要求3所述的探测器,其中所述不同的频带从下面选择:

(i) 超低频带;

(ii) 电源电流频带;及

(iii) 由用于探测载流导体的探测器的专用信号发射器产生的预定频带。

5. 根据权利要求3所述的探测器,包括可视的显示器,所述显示器设置为响应所述用于产生音频和/或视觉警报的装置而产生视觉警报。

6. 根据权利要求3所述的探测器,包括设置为响应所述用于产生音频和/或视觉警报的装置的音频警报,以提供可听见的音频警报。

7. 根据权利要求3所述的探测器,包括用于选择所述探测器的操作模式的手动操作装置,由此促使所述探测器在两个或更多不同频带中同时处理所述第一和第二数字信号。

探测载流导体的方法及设备

技术领域

[0001] 本发明涉及探测载流导体的方法及设备。

背景技术

[0002] 在埋藏了电缆、光缆或其它公用管道或导管处开始挖掘或其它操作之前,确定这些埋地电缆或导管的位置以确保其在操作过程中不被损坏是很重要的。并且对于可以追踪埋地电缆或导管的路线也是有用的。载流导体发射可以由电天线探测到的电磁辐射。如果光缆或非金属公用管道或导管与小型电追踪线 (small electrical tracer line) 配合,则在追踪线中可以感应交流电流,进而辐射电磁辐射。使用探测器来探测由承载交流电的导体发射的电磁场是公知的。

[0003] 一种类型的探测器以三种模式中的一种工作。这些模式分类为无源模式或者有源模式,无源模式为“电力”模式和“无线电”模式。各模式具有自己的探测频带。

[0004] 电力模式中,探测器探测由承载 50/60Hz 的 AC 主电源的导体产生的磁场,或因承载 AC 电能的附近电缆的作用与约至 3KHz 的高次谐波一起从导体再辐射的磁场。无线电模式中,探测器探测由埋地导体再辐射的超低频率 (VLF) 无线电能量。原始的 VLF 无线电信号的来源是多个商用和军用 VLF 长波发射器。

[0005] 有源模式中,信号发射器产生已知频率和调制的交变磁场,该交变磁场在附近的埋地导体中感应电流。信号发射器可以直接连接至导体,或者可以在不能直接接入的地方,将信号发射器邻近埋地导体放置,则在导体中可以感应信号。埋地导体再辐射由信号发射器产生的信号。

[0006] 这些系统广泛可用,且已由无线电探测公司 (Radiodetection Ltd) 以商标“C. A. T”和“Genny”上市一段时间。

发明内容

[0007] 本发明为现有的系统提供更多优点,为用户提供附加功能和益处。探测器在灵敏度、动态范围和选择性方面获得良好的性能。典型的参数是 6×10^{-15} 特斯拉灵敏度 (指 1Hz 带宽), 141dB rms/Hz 动态范围,以及允许 1Hz 过渡带 120dB 衰减的选择性。探测器可以数字编程以接收上至 44KHz 的任何频率且在任何限定的带宽处理。

[0008] 根据本发明的第一方面,提供一种探测埋地载流导体的方法,包括:利用邻近所述导体并且在地面上方的磁性传感器,以产生第一和第二相应的场强信号,所述场强信号的每个与由所述导体产生的已知频带的电磁场的强度成比例;采样所述第一和第二场强信号,以分别产生第一和第二数字信号;处理所述第一和第二数字信号,以离析所述相应的已知频带的第一和第二信号;处理所述离析的第一和第二信号,以产生表示所述载流导体到所述相应的磁性传感器的接近程度的信号;及产生与表示所述载流导体的接近程度的信号量成比例的音频和/或视觉警报;其中用两个或更多不同的频带同时处理所述第一和第二数字信号。

[0009] 优选地所述不同的频带为:(i) 超低频带;(ii) 电源电力频带;及(iii) 由专用信号发射器产生的预定频带。

[0010] 根据本发明的第二方面,提供一种用于探测埋地载流导体的探测器,包括:两个间隔开的磁性传感器(3,5),各磁性传感器用于将来自所述导体的电磁辐射转换为相应的第一和第二场强信号,第一和第二场强信号与由所述导体产生的已知频带的电磁场的强度成比例;用于采样所述第一和第二场强信号以产生相应的第一和第二数字信号的装置;用于处理所述第一和第二数字信号以离析相应的已知频带的第一和第二信号的装置;用于处理所述离析的第一和第二信号以产生表示所述载流导体到所述磁性传感器的接近程度的信号的装置;用于产生与表示所述载流导体的接近程度的信号量成比例的音频和/或视觉警报的装置;其中用两个或更多不同的频带同时处理所述第一和第二数字信号。

[0011] 优选地所述不同的频带可选择为:(i) 超低频带;(ii) 电源电流频带;及(iii) 由用于探测载流导体的探测器的专用信号发射器产生的预定频带。

[0012] 优选地所述探测器包含可视的显示器,所述显示器设置为响应所述用于产生音频和/或视觉警报的装置的而产生视觉警报。

[0013] 优选地,所述探测器包括设置为响应用于产生音频和/或视觉警报的装置的音频警报,以提供可听见的音频警报。

[0014] 优选地,所述探测器包括用以选择所述探测器的操作模式的手动操作装置,由此促使所述探测器在可选择的频带中,或者在单独一个频带中,或者以两个或更多不同频带中,同时处理所述第一和第二数字信号。

[0015] 根据本发明的第三方面,提供一种计算机程序,使计算机完成步骤:采样由邻近载流导体并且在地面上方的两个磁性传感器(3,5)产生的第一和第二场强信号,各场强信号与由所述导体产生的已知频带的电磁场的强度成比例,以分别产生第一和第二数字信号;处理所述第一和第二数字信号,以离析所述相应的已知频带的第一和第二信号;处理所述离析的第一和第二信号,以产生表示所述载流导体到所述相应的磁性传感器的接近程度的信号;及产生与表示所述载流导体的接近程度的信号的量成比例的音频和/或视觉警报;其中用两个或更多不同的频带同时处理所述第一和第二数字信号。

[0016] 本发明可以在一般用途的计算机的硬件或者软件中实施。另外,本发明可以结合硬件和软件实施。本发明也可以通过单一处理设备或处理设备的分布式网络来实施。

[0017] 这样,在详细说明本发明的至少一个实施例之前,应当理解的是本发明不局限于下文说明中所列举的或附图所表示的元件的结构和设置的详细应用。本发明也可以是除那些已描述的实施方式之外的实施方式,且可以是以不同方式实行和完成。同样应当理解的是,此处所使用的措词和术语,以及摘要是为说明的目的,不应理解为是限制。

[0018] 同样地,本领域技术人员应当理解,本公开所基于的概念可以容易地实现,来作为设计用于实现本发明的多个目的其它结构、方法和系统的基本原理。

附图说明

[0019] 现结合附图以示例的方式说明本发明的实施方式,图中:

[0020] 图1是体现了本发明的用于探测埋地载流导体的探测器的总框图;

[0021] 图2是图1的探测器的供电单元的框图;

[0022] 图 3A 和图 3B 是图 1 的探测器的预防模式系统的框图 ; 及

[0023] 图 4 是图 3B 的预防模式系统的无线电模式选择模块的框图。

具体实施方式

[0024] 参照图 1, 探测器 1 具有两个垂直间隔开的装在细长的垂直支承的外壳 (未示出) 内的天线, 即底部天线 3 和顶部天线 5, 操作员使用手柄可手动地移动外壳。天线 3、5 设置为使它们的轴平行且间隔开, 以使在使用中底部天线 3 在顶部天线 5 的正下方, 它们的轴均水平。各天线 3、5 产生的电信号被传输到两个放大器 7 中相应的一个。放大器的输出是场强信号 9, 场强信号 9 传输至 CODEC 11。

[0025] 天线 3、5 每一个都具有本底噪声。来自天线 3、5 的每一电信号被传输到其相应的放大器 7, 以将磁性传感器本底噪声提高至 CODEC11 的固有量化噪声之上, 这被称作一个或多个探测频带的带宽。每一放大器 7 的输出被传输至 CODEC 11。

[0026] 使用的天线 3、5 是高灵敏度的铁氧体线圈。也可以使用其他磁性传感器, 诸如霍尔效应传感器或磁门磁强计。

[0027] CODEC 11 是 24 位立体声 $\Delta - \Sigma$ 模数转换器 (ADC)。这是相对便宜的设备, 常用于音频工业。用“RD4000”商标标记的 Radiodetection Limited (无线电探测有限公司) 的产品中, 在天线和 ADC 之间使用预选式滤波、多级转换增益级和相敏外差电路。而本发明在天线和 ADC 之间不使用预选式滤波、多级转换增益级和相敏外差电路, 因此减少了元件的数量。因为装置测量的绝对准确度是重要的, 因此其它现有技术的电缆探测器中使用更精密的因而更贵的 ADC。

[0028] 本实施方式中使用的 CODEC 11 具有 $\pm 5\%$ 的绝对准确度, 然而 CODEC 11 的使用方式使其成为用于本应用的理想的 ADC。高动态范围消除了对多级增益级的需求。通过对探测带宽进行大量过采样 - 为该原理的理想应用的音频 CODEC 11 的噪声整形方案, 来获得高动态范围。

[0029] 尽管该音响级 ADC 是低绝对准确度, 本实施方式还从探测器 1 通过处理和比较从两天线 3、5 接收的信号来计算埋地导体的深度的事实中受益。因此, 通过比较两个处理信号来克服 CODEC 11 采样中的任何绝对的不准确度。将 CODEC 11 用作比例变换装置显著地降低了成本, 而没有损害探测器 1 的总性能。

[0030] CODEC 11 以上至 96KHz 来对场强信号 9 进行过采样。CODEC 11 的输出 13 被传输至数字信号处理模块 15, 该数字信号处理模块 15 由数字信号处理器 16 (DSP) 和场可编程门阵列 18 (FPGA) 组成。

[0031] DSP 16 主要有三个任务。首先, 其负责确定探测频带的选择。第二, 其控制探测器的音频和视频输出。第三, 其为探测器 1 的其它元件提供一般的控制功能。

[0032] 以 WO 03/071311, WO 03/069598, WO 03/069769, GB 2400994 和 GB 2400674 公布的无线电探测有限公司的申请中提供了 DSP 任务的详细操作, 将其全部引用在此以做参考。

[0033] 显著的益处源自于超窄带处理, 典型地与带宽的平方成比例的噪声。探测器 1 同时在几个频带中进行处理, 使得诸如一般的定位任务的冲击响应函数能够与诸如深度计算的窄带函数共存。以上至 44kHz 的任一频率在 1Hz 带宽中计算深度计算任务, 带外抑滞

约 -120dB。

[0034] 相位跟踪是当发射器和接收器时钟之间的潜在误差超过信号带宽时允许窄带任务锁定在载波频率上的基本特性。在有源模式的情况下,发射的信号可以被 100% 幅度调制,深度计算任务必须将其自身精确地定位在载波上而不与边带(位于 32,768Hz 载波 ±6Hz 处)串扰。

[0035] 相位跟踪算法是无线电探测有限公司在申请号为 0407372.2 的英国申请中描述的处理的自然发展。基本的信噪比(SNR)测量是在载波和边带上进行的,并且为确保跟踪算法而执行的检查不因电力线传输而在任何高次谐波上偏移。SNR 是从量级和二阶导数相位信息两者来量化得到的;所有结果都与天线 3、5 两者相关。在 SNR 小于 10dB 的情况下,深度计算任务失效,因而确保只有准确的信息呈现给用户。

[0036] 当在脉冲模式操作中时,将频谱识别概念应用于有源信号。该想法是无线电探测有限公司在申请号为 0407372.2 的英国申请中描述的算法的简单应用,且包括载波和 AM 边带的频谱估算。该估算是 SNR 的离散傅立叶变换(DFT)卷积和测量。DFT 随着跟踪算法而移动,且锁定在载波频率上。

[0037] 这些方法的结合确保探测器 1 获得最佳可能的信号完整性和深度准确度。

[0038] 用户通过灵敏度控制 17 和开关 19 来控制探测器 1。开关 19 用于设置探测器 1 的操作模式。例如,可以将探测器 1 设置为在无线电、电力或有源模式下工作。当使用专用的信号发生器接近要被探测的电缆时选择有源模式,信号发生器在再辐射磁信号的导体中感应交流电流。该信号发生器以预置频率和由探测器 1 确定的预置调制运行。开关 19 的另一位置是“预防”模式,下面将说明其操作。

[0039] 灵敏度控制 17 用于改变天线 3、5 的梯度灵敏度。高灵敏度最初用于探测由载流导体产生的弱信号的存在。一旦确定导体的存在,就改变灵敏度控制 17 以减小探测器 1 的灵敏度,而用探测器 1 来更准确地确定被隐藏的载流导体的位置。公布为 US 6777923 的无线电探测有限公司的申请中描述了一种方法,该方法说明了作为灵敏度函数的定位窗,其引用在此作为参考。

[0040] 液晶显示器(LCD)21 设置在外壳表面中以显示例如探测器的操作模式、电池状态、导体深度和/或探测到的信号的强度的信息。对于本领域技术人员来说,显然可以使用其它的用户显示装置。

[0041] 探测器 1 也包含存储软件的闪存 ROM 23,和电源单元(PSU)25。探测器 1 的关键要求在于其必须是便携式的。因此,电池 26 用于为探测器 1 供电,这种情况下为两个“D”型电池,各提供额定 1.5V 电压。

[0042] 在使用中,探测器 1 被供电,并且软件从闪存 ROM 23 加载至数字信号处理模块 15。用户调节开关 19 以选择操作模式。该选择可以是无线电模式、电力模式、有源模式或者预防模式。在电力模式中、有源模式和预防模式中可以激活深度阈值警报功能。在预防模式中深度阈值警报功能仅在电力模式和有源模式的频带中的频率上作用。下文详细说明深度阈值警报功能。

[0043] 当探测器 1 接近载流导体时,在底部天线 3 和顶部天线 5 中感应电流。天线 3、5 每一个中感应的电流被相应的放大器 7 放大。放大器 7 的输出 9 是两个天线 3、5 的场强信号。这些信号输入至 CODEC 11, CODEC 11 以上至每秒采样 96 千次来采样这些信号。数字

信号 13 被传输至数字信号处理模块 15。数字信号处理模块 15 的 DSP 16 根据操作模式离析目标频带的信号。如果 DSP 探测到载流导体的存在,则在扬声器 22 和 / 或指示器 21 上触发音频和 / 或视觉警报。

[0044] 参照图 2, PSU 25 用以减少自生噪声,该噪声干扰探测器 1 的定位灵敏度和选择性。干涉机理是在功率轨上传导或者作为磁场辐射。探测器 1 的空间限制意味着将存在必然将来自辅助电子设备的无用信号耦合到天线中。通过谨慎地控制 PSU 25 的电磁辐射,可获得各种益处。例如,现有技术的数字探测器作为外差或超外差接收器进行操作,其中 DSP 的操作带宽从基带信号偏移开。这种偏移是需要的,以避免辅助电子设备和信号探测器之间的电磁干扰,并且利用了 DSP 的大部分处理容量。在本发明中,通过将探测器 1 用作零差接收器来闲置这些容量,剩余容量用于其他功能,如下面所述。

[0045] PSU 25 是由微处理器控制的开关式电源,该情况中的微处理器是 DSP 16。PSU 25 提供 12V、+3.3V 和 -3.3V 的稳压。PSU 25 的输入电压随着电池 26 的老化而降低。主要由于扬声器 22 引起的电流的变化,所以负载 31 是动态的。扬声器输出随着载流导体被探测到而明显变化。由其它元件引起的电流也波动。

[0046] PSU 25 包含脉宽调制器 (PWM) 27,该脉宽调制器 27 由 DSP 16 控制。PWM 27 的输出被传输至单端初级电感控制器 (SEPIC) 29,SEPIC 29 以 CODEC 采样频率的四倍,即上至 384KHz 被精确地驱动。这样确保一次谐波落在 CODEC 11 和 DSP 16 的自然零点上,如现有技术所公知的。由 SEPIC 29 产生的三个稳定线路为探测器 1 的动态负载 31 即探测器 1 的元件供电。

[0047] SEPIC 29 的两边缘受到控制,以使 DSP 16 完全控制由 PSU 25 产生的全部的电磁辐射。这样,DSP 16 能够消除将与探测频带重叠的任何无用的电力谐波。

[0048] 使用比例积分微分 (PID) 控制器 33 反馈算法来控制 PSU 25。反馈带宽由噪声预防的要求所限制,以使没有更高次电力转换谐波干扰定位频带。稳定电压由滤波器 39 进行滤波,且被传输至 PID 控制器 33。PID 控制器 33 的输出被组合起来,作为输入提供给查找表 35。电池 26 的电压也作为输入提供给查找表 35。对控制功能的另一贡献是负载预报器,负载预报器响应负载的急剧变化,典型地为增加的音频需求,来对 SEPIC 29 的占空比进行偏移。该负载预报器功能由 DSP 16 提供,DSP 16 知道某些元件所需要的负载,特别是扬声器 22。由 PSU 25 引起的负载典型地在 600 和 1500mW 之间变化。

[0049] 查找表 35 的输入为电池供给电压、负载预报器和三个反馈成分。输出是一次转换的占空比。查找表 35 的目的是确保由调节过程产生的 PSU 25 的频谱分量不会与探测频带重叠。这样导致急剧变化时可以从一个占空比跳到另一占空比的间断功能,而非连续的稳定灰阶。查找表 35 的具体特性适合于操作模式。

[0050] 通过使用 PID 控制器 33 和查找表 35,消除了对专有的转换调节器的需求,因此减少探测器 1 的成本。SEPIC 29 是转换变换器,其输出几乎是占空比的线性函数。反馈控制律 33 被限制于约 1.5KHz 的带宽。在 DSP 16 可以进行控制之前需要仿真线路振荡器来启动 SEPIC 29。

[0051] 在可选的实施方式中,可以使用 PID 反馈混频的其它组合。例如,反馈律 33 可以是标准的比例控制(具有滞后现象),即具有零积分和微分反馈增益。根据操作模式使用控制算法。

[0052] 通过控制 PSU 25 的自生噪声,探测器受益于改进的 SNR。因此提高了探测器 1 的灵敏度和选择性。

[0053] 图 3A 和图 3B 表示探测器 1 的更详细的框图,示出了在探测器 1 中实施的“预防”模式系统。如上所述,可使用三种专用的操作模式,即一种有源模式和两种无源模式。当使用现有的探测器检测埋地导体的区域时,需要扫描该区域三次,每次探测器处于不同的模式中。

[0054] 本发明的探测器 1 将专用的有源和无源操作模式结合为单一模式,已知为预防模式,以单次扫描探测埋地导体,从而节省时间。如果必要的话,后期可以使用一种或多种专用模式来确定埋地导体的准确位置。同时运行三种模式,共享该对天线 3、5 和共同的探测指示器 21 和扬声器 22。通常将探测灵敏度 30 设为最大,但也可以设于较低级。

[0055] CODEC 11 的时钟为 73.242KHZ。DSP 16 处理由天线 3、5 产生的场强信号,同时离析与三种模式选择模块 41、43、45 中的三种操作模式相应的三个频带中每一频带的信号。

[0056] 现有的探测器中,主要由于处理和电力的限制及其外差结构,DSP 一次仅能处理一种模式。但是,根据本实施方式,由于因系统中的其他效益而闲置的容量,例如探测器 1 作为零差接收器的能力,使 DSP16 能够同时处理各个信号。

[0057] 与不同操作模式相应的 DSP 16 的信号被输出传输至自动增益控制器 47 (AGC),诸如以 US 6777923 公开的无线电有限公司的申请中描述的 AGC,引用在此以做参考。将 AGC 47 的各输出转化为比较器 49 中的探测信号。探测信号被结合且被用于提供音频输出给扬声器 22 和 / 或给指示器 21,例如在 LCD 上提供视觉信号。

[0058] 探测器 1 不断地计算埋地导体的估计深度。如果计算出的埋地导体的深度小于预设阈值,例如 30cm,则触发音频和 / 或视觉警报以向操作员警告浅埋的导体。当挖掘一区域时这种浅埋导体特别受关注因为有增加击中浅埋导体的风险。

[0059] 为了优化探测器的用户界面,当计算导体的深度时,DSP 16 同时在三种频带中处理信号以确定为用户呈现信息的方式。以 1Hz 带宽来计算导体的深度;在 10Hz 带宽中处理可视显示器以使显示器的闪烁处于可被接受的水平;以 35Hz 处理音频警报,以确保脉冲音调清晰可听得见。

[0060] 深度阈警报功能在操作的电力模式和有源模式中起作用。其也在预防模式中起作用,但仅对在电力和有源模式中使用的频带操作。如下所示,通过比较两天线 3、5 接收到的信号的强度来计算埋地电缆的深度。

[0061] 底部天线信号 $E_b(w)$ 和顶部天线信号 $E_t(w)$ 作为探测器与导体的水平偏移量 w 的函数,表示为

$$[0062] \quad E_b(w) = \frac{ka}{a^2 + w^2} \text{ 和}$$

$$[0063] \quad E_t(w) = \frac{k(x+a)}{w^2 + (x+a)^2}$$

[0064] 其中 k 是磁性常数; x 是天线之间的距离;而 a 是载流导体上方的垂直距离。载流导体的深度表示为:

$$[0065] \quad d(w) = \left| \frac{x}{\frac{E_b(w)}{E_t(w)} - 1} \right|$$

[0066] 深度阈警报函数表示为：

[0067]

$$SA(w) = \begin{cases} 1 & \text{如果 } \left| \frac{E_b(w)}{E_t(w)} \right| \geq T_d \\ 0 & \text{其它} \end{cases}$$

[0068] 其中 T_d 是深度阈常数，取决于期望深度，超过该期望深度触发警报。

[0069] 如果 $SA(w) = 1$ ，触发音频和 / 或视觉警报。然后通过改变探测器 1 的灵敏度来准确定位埋地导体的位置，可以获得更准确的深度测量，如上所述。

[0070] 该方法包括将深度阈警报函数的潜在的交错引入到定位描述中，深度阈警报函数由导体的深度 a 和水平偏移量 w 以及探测器 1 的灵敏度支配。

[0071] 当将探测器 1 位于载流导体的正上方时，天线 3、5 中感应的信号之间的差异最大。随着探测器 1 远离导体，该差值起初减小然后又上升至第二峰值。该情形是探测器在垂直于导体的任一方向上移动。因此，当探测器 1 在载流导体的正上方时，天线 3、5 中感应的信号之间的差值有个主峰，而当探测器 1 与导体水平放置时，有两个较小的峰值。

[0072] 当探测器 1 估算深度阈警报函数时，当探测器 1 在导体的正上方时和当探测器移动到探测器 1 的任一侧时，可以触发深度警报，与导体水平放置时的较小峰值相一致。通过移动探测器 1 穿过触发深度阈警报的三个位置的每个，其中中间位置对应于导体的正上方，有经验的用户可以区分开主中峰和两个较小的侧峰。

[0073] 常规地，无线电模式使用差频振荡器 (BFO) 将探测带宽的中心定于目标 VLF 频谱上。各个国家发射的 VLF 传输的具体频率不同。常规的方法需要根据地理位置将 BFO 调谐到具体的频率。

[0074] 通过将经过多个 BFO 处理的信号的输出结合起来，本实施方式获得“通用的”无线电模式。该方法的优点在于探测器 1 在大多数国家中可以应用，且在这些国家中不需要本地配置，因此节约成本及部署时间。实现 BFO 的结合且不丢失性能。

[0075] 无线电选择模块的输入源是来自 VLF 发射站的在 16KHz 至 39KHz 频带中的能量。参照图 4，模块 41 将来自多个 BFO 53 的信号 55 添加到普通算法中，因此包含所有频谱且不丢失所涉及的信噪比的性能。除了具有多个 BFO 外，该算法与所有先前的算法非常相似。BFO53 在共模结合 57 处相加，其输出与从 CODEC 11 输出的信号 59 相乘。低通滤波器 61 判定全部的带宽探测，其典型地为 10KHz，并且还除去调制所固有的三角和项。

[0076] 如果使用两个 BFO 53，它们的频率在 17536Hz 至 20992Hz 和 20992Hz 至 24448Hz 的范围内选择。优选地它们的频率在 18400Hz 至 20128Hz 和 21856Hz 至 23584Hz 的范围内选择。本实施方式中两个 BFO 53 的频率选择这些范围的中间值，即 19264Hz 和 22720Hz。另一优选频率范围是 24700Hz 左右，可以选择另外的 BFO 频率以改进本地覆盖。通过将多个 BFO 53 运行于这些精心挑选的频率，探测器可以以无线电模式在多数国家中进行探测。

[0077] 无线电模式选择模块 41 的信号处理的其他部分与先前的用于处理无线电模式信

号的结构没有变化。包含整流器 63、随后的低通滤波器 65、下采样级 67 和另一低通滤波器 69。该级联采样和低通滤波用于抽取从每秒采样约 73 千次下至每秒采样约 610 次的采样率的带宽,具有接近 10Hz 的全部响应带宽,即无线模式的冲击响应带宽。

[0078] 对于本技术领域技术人员来说,各种修改都是显而易见的,且其期望包括所有落入所附权利要求范围内的修改。

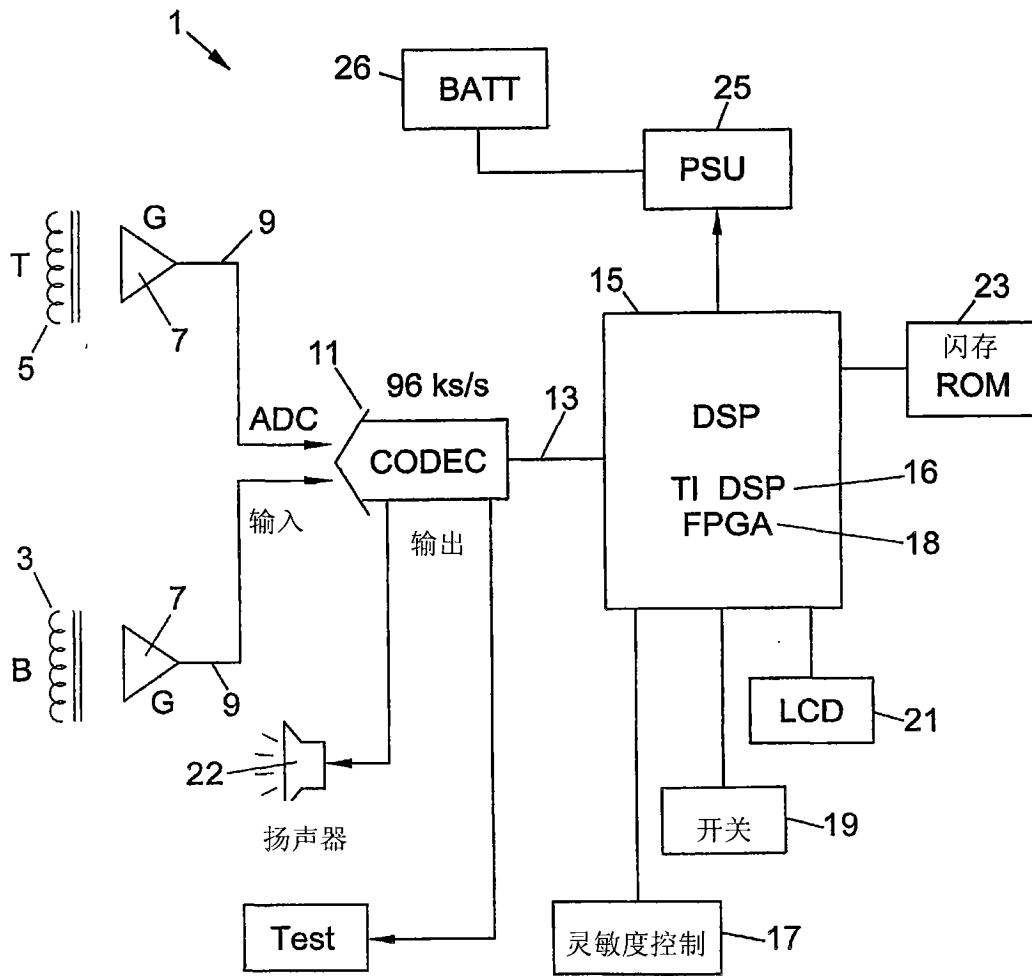


Fig. 1

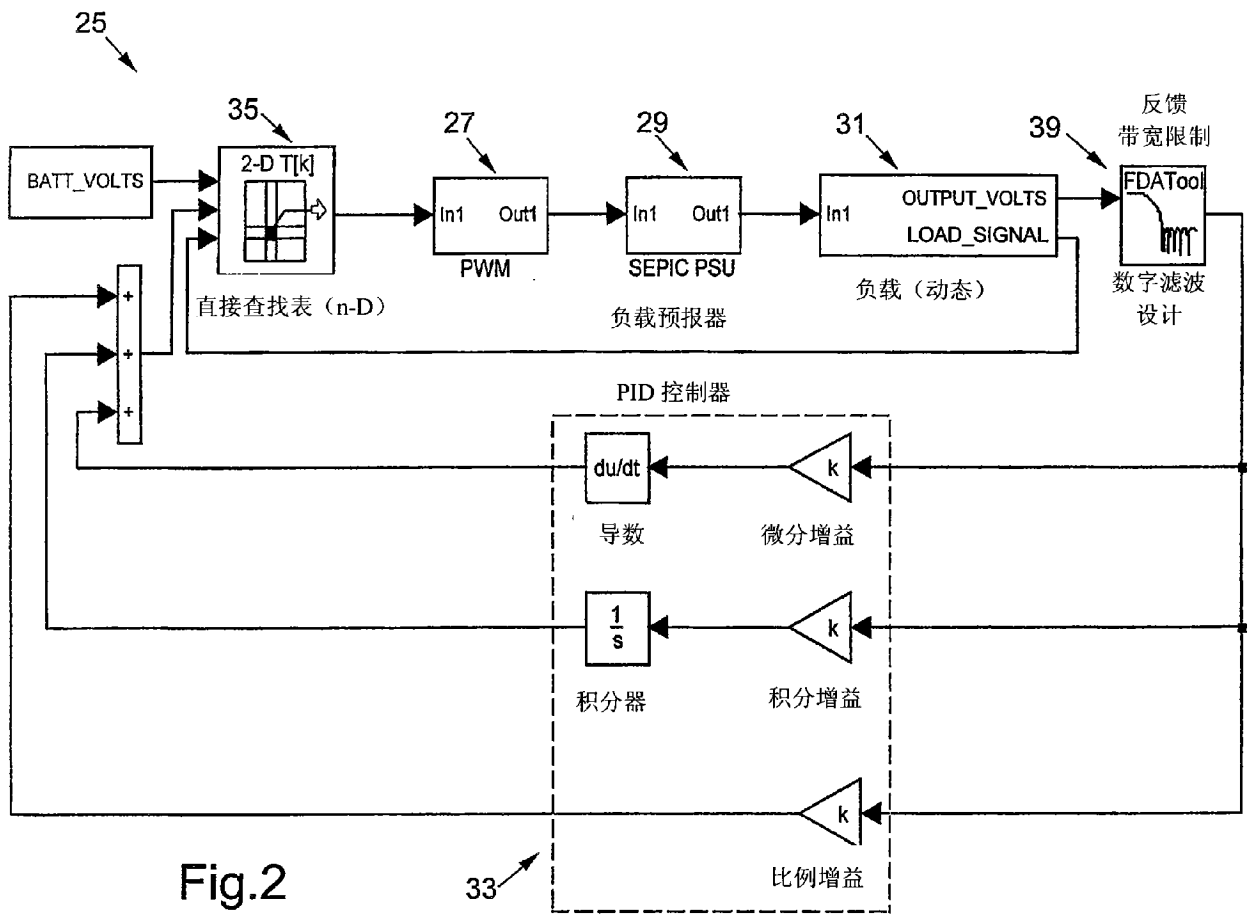


Fig.2

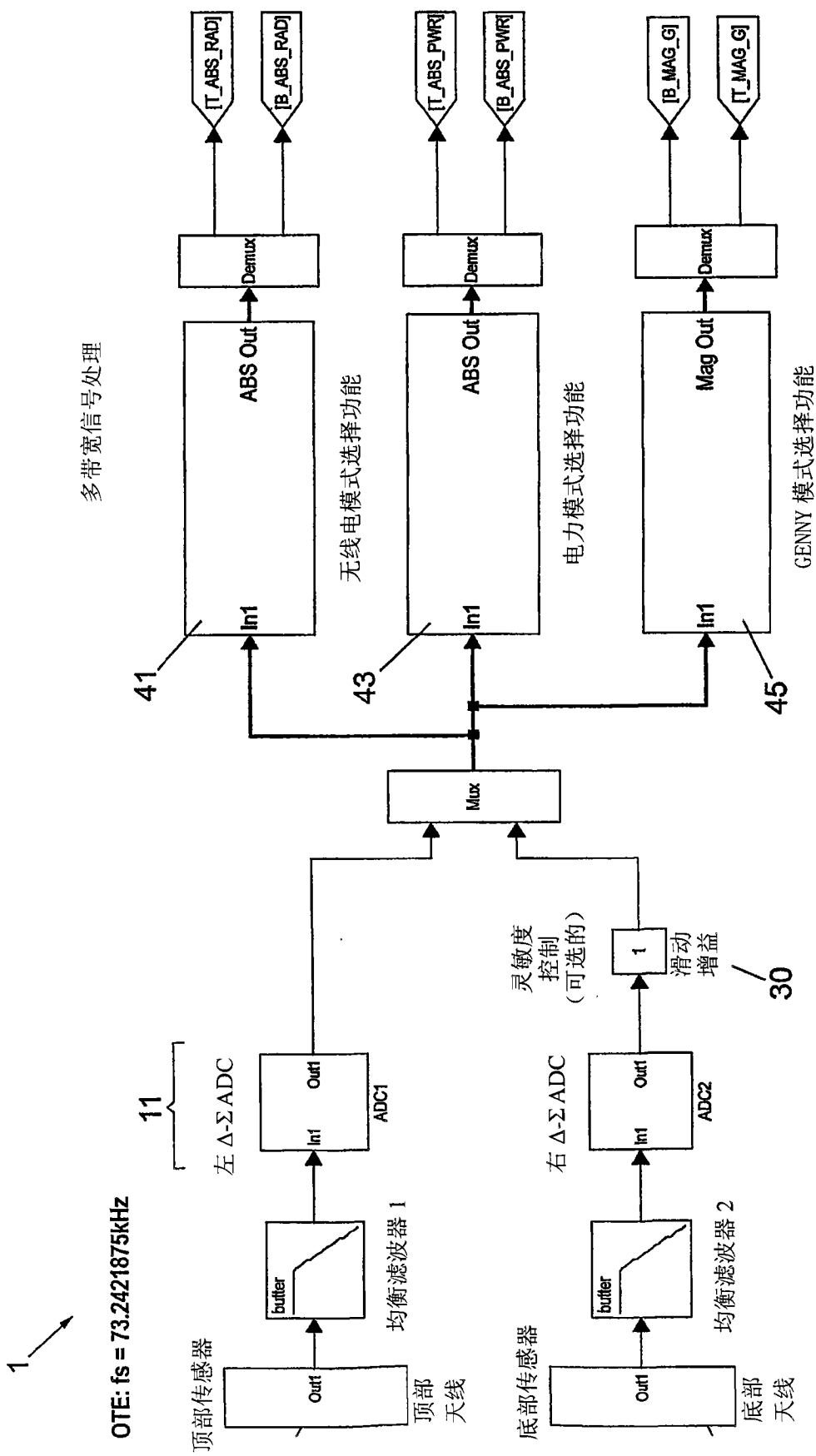
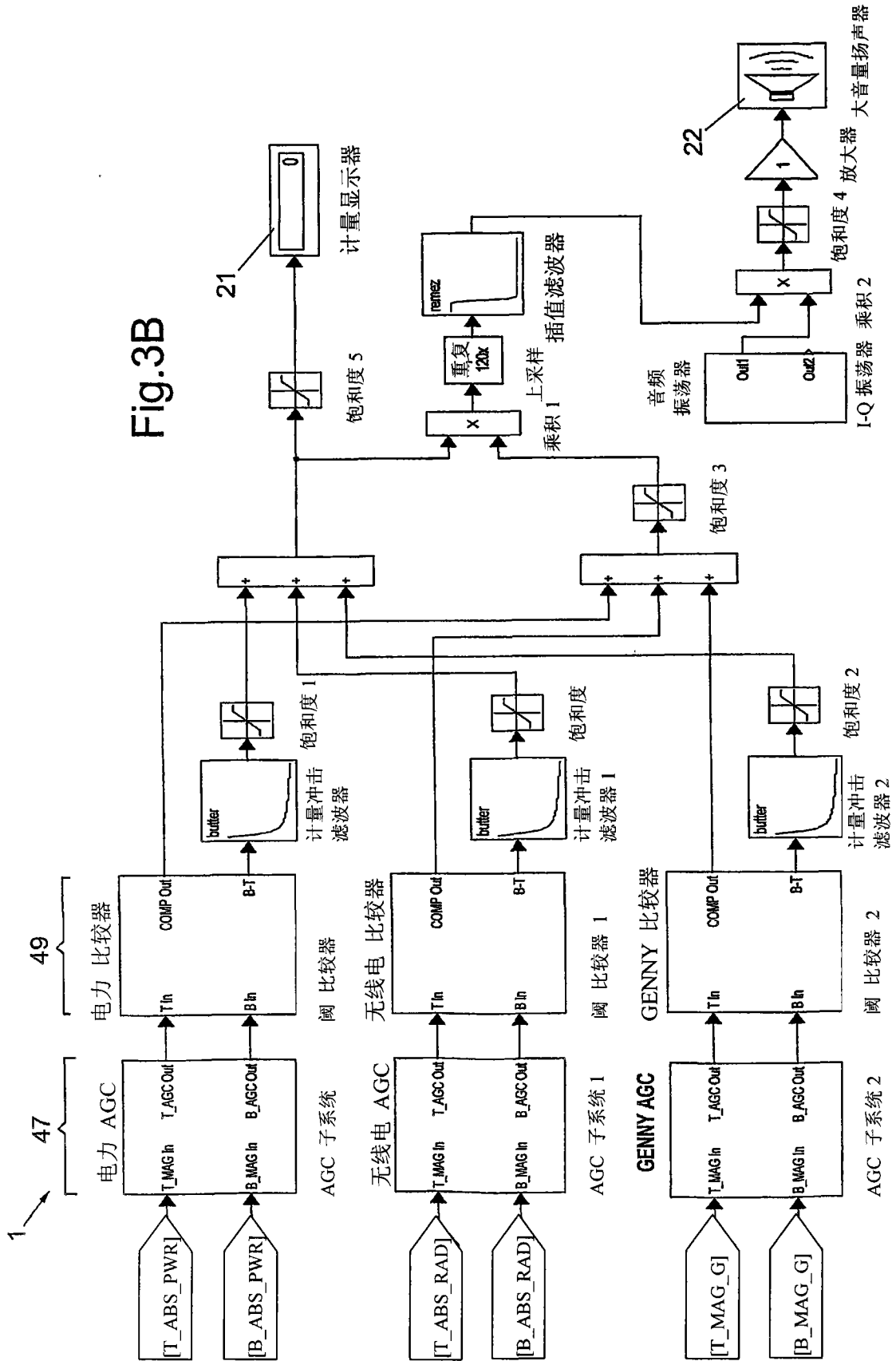


Fig.3A



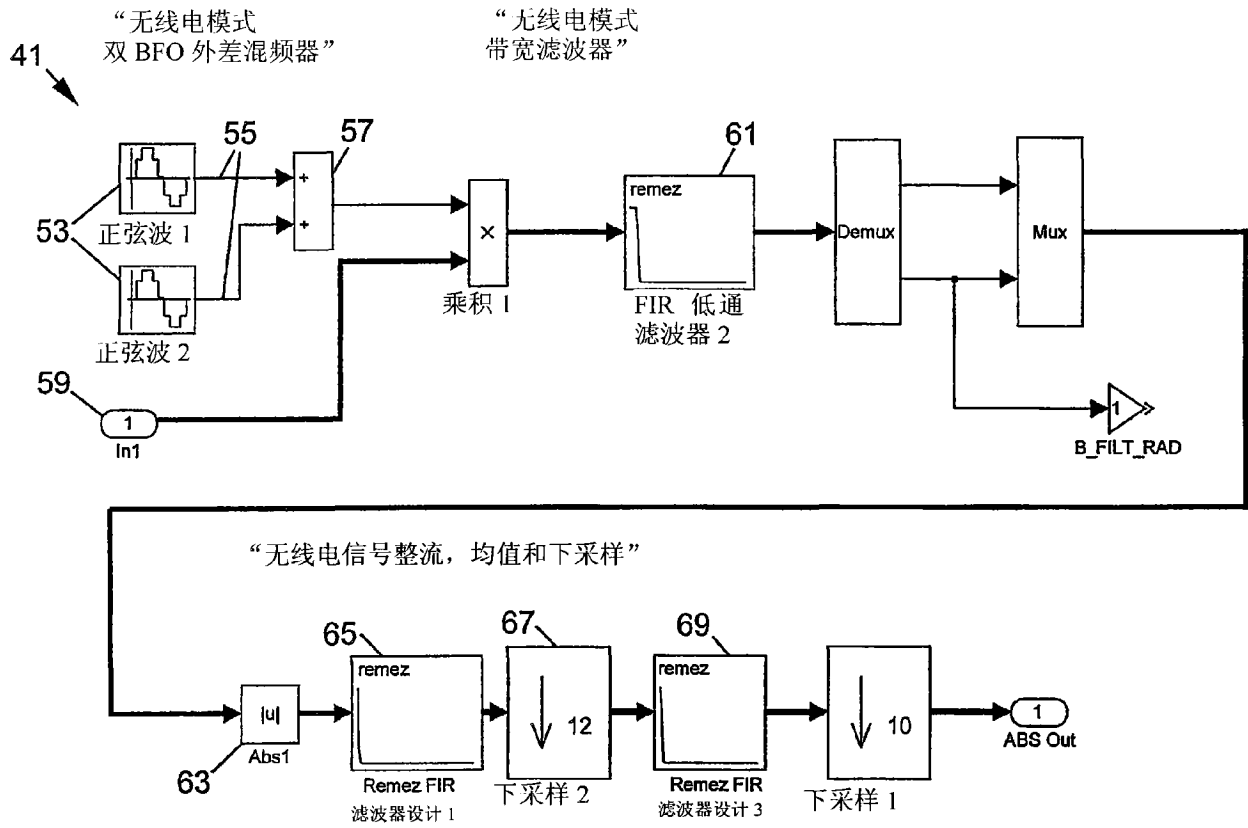


Fig.4