



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102997050 A

(43) 申请公布日 2013. 03. 27

(21) 申请号 201110271997. 0

(22) 申请日 2011. 09. 14

(71) 申请人 中国石油天然气集团公司
地址 100007 北京市东城区东直门北大街9号中国石油大厦
申请人 中国石油天然气管道局

(72) 发明人 张金权 王小军 焦书浩 侯志相
王赢 方德学 张俊杨 程云涛
于立成 黄现玲

(74) 专利代理机构 北京市中实友知识产权代理有限公司 11013
代理人 金杰 任清汉

(51) Int. Cl.
F17D 5/02(2006. 01)

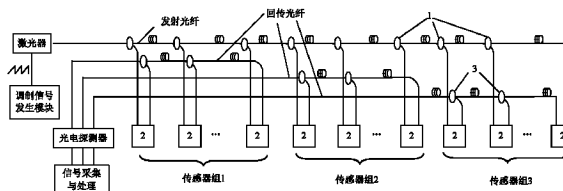
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 3 页

(54) 发明名称

一种天然气管道泄漏光纤检测系统的抗相位衰落系统

(57) 摘要

本发明是一种天然气管道泄漏光纤检测系统的抗相位衰落系统。涉及机械振动的测量、冲击的测量和管道系统技术领域。它包括光源、光路系统和电路部分；在管道本体上每隔一定距离安装一个光纤传感器，相邻的多个光纤传感器构成一个光纤传感器组，各光纤传感器组共用一根发射光纤与光源连接，每个光纤传感器组使用一根回传光纤与光电探测器连接；光电探测器输出接包括泄漏信号识别电路和事件定位电路的信号采集与处理模块，信号采集与处理模块输出通过外部接口接微机。本发明能有效地消除相位衰落引起的灵敏度和信噪比不稳定的问题、实现对泄漏信号的可靠检测。



1. 一种天然气管道泄漏检测传感器组的抗相位衰落系统,其特征是它包括光源、光路系统和电路部分;在管道本体上每隔一定距离安装一个光纤传感器,相邻的多个光纤传感器构成一个光纤传感器组,各光纤传感器组共用一根发射光纤与光源连接,每个光纤传感器组使用一根回传光纤与光电探测器连接;光电探测器输出接包括泄漏信号识别电路和事件定位电路的信号采集与处理模块,信号采集与处理模块输出通过外部接口接微机;

由光源发出激光,经传输光路实现分束后,部分光被传输到安装在管道壁上的光纤传感器组,光纤传感器组拾取沿管道传播的泄漏振动信号以及噪声后,再次经传输光路传回至系统的光电探测器,由信号采集与处理模块进行泄漏信号解调与识别分析,并对泄漏信号进行时延估计实现对泄漏点的定位。

2. 根据权利要求 1 所述的一种天然气管道泄漏检测传感器组的抗相位衰落系统,其特征是所述光源由光频可调的激光器和专用调制信号发生模块构成;调制信号发生模块通过 D/A 输出接激光器调制信号输入端;调制信号发生模块输出信号有频率调节、幅度调节和锯齿波/倒锯齿波选择输入;

使用调制信号模块产生所需的锯齿波或倒锯齿波调制信号,通过调制信号发生模块中的 D/A 输出施加到激光器上,输出光频按照锯齿波或倒锯齿波规律变化的连续激光。

3. 根据权利要求 2 所述的一种天然气管道泄漏检测传感器组的抗相位衰落系统,其特征是调制信号发生模块的光源调制电路主要由运算放大器 U7、DFB 激光器 U8、运算放大器 U9 和 2 个三极管 Q4、Q5 组;U7 的 7 端接 VDC,6 端接电阻 R18 后与二极管 D8、电容 C41 串联后与电容 C38 并联的电路再串联,6 端接电阻 R19 后接 VDC,同时再接二极管 D4、D5、D6、D7 的串联到地,4、7、8、9、10 端接地,3 端经电阻 R17 后接地,2 端与接 U8 的端;U8 的 1、14 端接地,12 端经电容 C34 接地,5、11 端接 VDC,4 端接 PDne,6 端接 TEC+,3 端经扼流圈 L3 与电阻 R20 串联后接三极管 Q4 的集电极,同时 3 端经扼流圈 L3 与电阻 R21 串联后接三极管 Q5 的集电极;U9 的 1、2 端之间并联电阻 R22 和电容 C39 后由 1 端接电阻 R25 到 6 端,PDne 接电阻 R30 再串联电阻 R27 接 U9 的 3 端,同时接 PDne 的电阻 R30 与电位器阻 R31、电阻 R32、电容 C43 三者并联后串联接地,5 端经电阻 R24 接 VREF,7 端经电阻 R28 与 8 端经电阻 R26 共接电容 C45 到地;从电容 C45 的上端接出经二极管 D11、D12 至 Q4 的基极,同时基极接电容 C44 到地,同时经二极管 D10 与电阻 R29 串联也到地,Q4 的基极接 Q5 的基极,而 Q4、Q5 的发射极接地。

4. 根据权利要求 1 所述的一种天然气管道泄漏检测传感器组的抗相位衰落系统,其特征是所述光路系统是在管道上每隔一定距离安装一个迈克耳逊或马赫-曾德结构的干涉仪作为管道泄漏声波传感器,同时使用与管道同沟敷设光缆内的一根称为发射光纤的光纤传输激光器发出的激光,激光到达每个传感器附近时,通过光分束器分为两束,一束激光注入传感器输入端,另一束激光通过发射光纤传到下一个传感器,以此类推;管道上多个相邻的传感器分为一组,组内各传感器的干涉信号通过光合束器接入回传光纤,传回到设备接收端;管道上相邻的两个传感器之间的发射光纤和回传光纤的长度均要大于激光器相干长度的 1/2;

每个传感器组使用一根回传光纤,回传光纤数量与传感器组数量相同。

5. 根据权利要求 1 所述的一种天然气管道泄漏检测传感器组的抗相位衰落系统,其特征是所述信号采集与处理模块包括信号调理单元、信号采集单元、处理单元、终端显示和外

部接口；光电探测器输出依次串接信号调理单元、信号采集单元和处理单元，处理单元输出有终端显示和外部接口。

6. 根据权利要求 5 所述的一种天然气管道泄漏检测传感器组的抗相位衰落系统，其特征是所述信号调理单元的电路主要由运算放大器 U14、光电二极管 U15 组成；U15 的 1、5、8 端悬空，3、4 端接地，2 端经电阻 R39、电容 C60 二者并联后接 6 端，6 端经电阻 R43 接 U14 的 3 端，7 端接 U14 的 8 端；U14 的 4 端接地，5 端悬空，6、7 端共接 AD_VINI，1 端接 AD_OUT 口，2 端经电阻 R42 接地，1、2 端之间接电阻 R40、电容 C59 二者的并联。

一种天然气管道泄漏光纤检测系统的抗相位衰落系统

技术领域

[0001] 本发明是一种天然气管道泄漏光纤检测系统的抗相位衰落系统。涉及机械振动的测量、冲击的测量和管道系统技术领域。

背景技术

[0002] 目前,世界上建成的管道总长达到 250 万公里,已经超过铁路总里程成为世界能源主要运输方式,发达国家和中东产油区的油品输运已全部实现管道化。我国管道在近年也得到了较快发展,总长也超过 7 万公里,已初步形成横跨东西、纵贯南北、覆盖全国、连通海外的能源管网大格局,管道运输成为油气等战略能源的调配输送的主要方式。

[0003] 管道由于跨越地域广,受自然灾害、第三方施工破坏等原因,导致了较多的管道泄漏事故发生。国外管道安全情况也非常不容乐观,美国 2010 年 9 月 9 日圣布鲁诺市发生天然气管道大爆炸,爆炸在路面造成一个长 51 米、宽 9 米的大坑。一段长约 8 米、直径 76 厘米的管道被炸上天,飞出大约 30 米远,并引发大范围火灾,导致 4 人死亡,3 人失踪,至少 52 人受伤,过火面积 4 公顷,数十桩房屋被烧毁。近年来人们安全、环保意识显著提升,作为高危行业的管道输运安全问题也得到越来越多的重视。

[0004] 目前成熟的技术中对于天然气管道泄漏监测只有声波监测法较为有效,但为了提高对泄漏监测的实时性和漏点定位的准确性,必须在管线上加大传感器的布设密度,同时增加相应的供电、通信设备,造成系统成本以及安装维护费用高昂。

[0005] 随着传感技术的发展国外如美国 CSI、ATMOSI、欧洲 TER 等公司开展了 SCADA 泄漏监测系统研究,Sensornet 公司也开发了基于分布式光纤温度传感器的泄漏监测系统,部分产品在国内也申请了专利保护;国内天津大学、清华大学、中国人民解放军后勤工程学院等单位也对管道的泄漏监测方法做了深入研究。

[0006] 专利 CN200410020046.6 公开了一种基于干涉原理的分布式光纤油气管道泄漏监测方法及监测装置。该监测系统要求在管道附近沿管道并排铺设一根光缆,利用光缆中的光纤组成一个光纤微振动传感器。专利 CN200620119429、CN200610113044.0 均为基于 Sagnac 光纤干涉仪的管道泄漏监测装置,专利 CN200610072879.6 是一种基于分布式光纤声学传感技术的管道泄漏监测装置及方法。

[0007] 《传感器与微系统》第 26 卷第 7 期的“基于分布式光纤传感器的输气管道泄漏检测方法”公开了一种基于分布式光纤传感器的输气管道泄漏检测装置和方法,它是在具有一定间隔的管道本体上安装光纤传感器,连续实时监测沿管道本体传播的振动波信号,对采集的振动波信号进行分析处理,包括类型识别和振动源定位,其中类型识别为通过对振动波特征的提取分析判别其是否属于泄漏类型,同时根据振动波传播到相邻几个光纤传感器的时间延迟结合振动波在管道本体上的传播速度确定振动波源所在的位置,传感器输出的光强信号经光电转换后实现泄漏点的位置的确定。

[0008] CN1837674A 公开了一种基于分布式光纤声学传感技术的管道泄漏检测装置及方法。

[0009] US2006/0225507A1 公开了一种基于分布式光纤传感器的管道泄漏检测装置及方法。

[0010] 上述技术均属于分布式光纤传感监测方法。但该类技术监测泄漏时受到管道周围所发生的干扰事件的影响,具有很高的系统虚警率,抗干扰能力较差。

发明内容

[0011] 本发明的目的是发明一种能有效地消除相位衰落引起的灵敏度和信噪比不稳定现象、实现对泄漏信号的可靠检测的天然气管道泄漏光纤检测系统的抗相位衰落系统。

[0012] 本发明的目的是提供一种基于光纤传感的高灵敏度准分布式泄漏振动监测系统,使得可以在管道发生微漏、渗漏等泄漏初级阶段时,可以被及时监测到并产生报警,使得相关维护人员采取应对措施,避免造成更大的安全事件。

[0013] 具有较高泄漏振动传感灵敏度的天然气管道泄漏监测系统是通过增加干涉仪两传感臂的长度和空间距离从而实现了干涉仪对振动信号的感应灵敏度的提高,在对环境随机振动干扰的抑制方面采用了泄漏信号的智能识别技术,有效区分了随机偶发振动和突发性、持续性泄漏信号,并且结合相邻的多个传感器同时获取的泄漏信号时延,更加准确的实现了泄漏点的定位。

[0014] 利用与油气管道同沟敷设的普通通信光缆中的光纤作为发射和回传光纤,将管道泄露光纤传感器通过光复用技术相互并联接在发射和回传光纤之间,形成光回路,管道泄露光纤传感器安装在管道上,形成可监测管道泄露声波的光纤传感系统。利用光源对各个管道泄露光纤传感器扫描,根据管道泄露光纤传感器的分布情况对采集的光电转换信号解调、提取,实现各个管道泄露光纤传感器的振动信息获取,检测分析管道泄露光纤传感器信号判断是否有管道泄露事件发生,依据相邻的管道泄露光纤传感器检测到信号的到达时间延迟实现对泄露点的定位。

[0015] 天然气管道泄漏光纤检测系统的抗相位衰落方法是:在管道本体上每隔一定距离安装一个迈克耳逊干涉仪或马赫-曾德干涉仪结构的传感器,由若干个传感器通过光分束器和合束器并联接在发射光纤和回传光纤之间;基于锯齿波或倒锯齿波调制的激光器作为光源,以及不等臂长的迈克耳逊干涉仪或马赫-曾德干涉仪作为传感器,在干涉仪信号中产生近似单频的余弦信号载波,使用与载波信号同频的余弦和正弦信号对载波信号进行解调,得到原始泄漏声波信号。

[0016] 采用光纤迈克耳逊干涉仪或马赫-曾德干涉仪作为泄漏声波检测传感器,其输出的光强信号经光电转换后可以写成:

$$[0017] \quad V_0 \propto 1 + V \cos(\phi_s + \phi_n + \phi_0) + V_n \quad (1)$$

[0018] 其中, V_0 是输出的电压信号, V 是干涉仪的可视度, V_n 是电路附加噪声, ϕ_s 为由水声波引起的相差信号,即为要探测的泄漏声波信号, ϕ_0 为干涉仪的初始相位,是个常量, ϕ_n 为位相差的低频漂移,是一个不确定量,随温度和外界环境影响而变化。

[0019] 式(1)中,由于低频干扰 ϕ_n 随机变化,且幅度大,受 ϕ_n 变化影响,系统输出的信噪比在变化,且当 $\sin \phi_n = 0$ 时,信号完全消隐,此即称为干涉仪的相位衰落现象。

[0020] 为了消除相位衰落现象,采用相位载波技术来检测泄漏声波信号。具体如下:

[0021] 制作迈克耳逊干涉仪或马赫-曾德干涉仪时,使干涉仪两臂不等长,两臂长差为

ΔL ;

[0022] 将锯齿波或倒锯齿波信号作为调制信号,频率至少为泄漏声波频带宽度的两倍,作用到光频可调的激光器,激光器输出光频按照锯齿波调制信号同步变化的激光,输入到迈克耳逊干涉仪,由于两臂不等长,通过两臂的激光将产生时延差,从而参与干涉的两束激光除了在锯齿波下降沿处外,其他时刻的光频差均为一个常数,因此,干涉仪输出的干涉信号为一个近似单频的余弦信号,角频率 ω_0 与干涉仪两臂长差 ΔL 成正比, ΔL 越大,干涉信号频率越高;

[0023] 使用带通滤波器对干涉信号进行滤波,滤波器中心频率为干涉信号中心频率,带宽与锯齿波调制信号频率相同;滤波之后即可获得该干涉仪的载波信号,按照如下方法解调可消除信号的相位衰落问题,获得原始泄漏声波信号。

[0024] 传感器载波信号的解调原理见图 6,干涉信号输出接带通滤波,带通滤波输出一路与 $\cos(\omega_0 t)$ 相相乘后接第一低通滤波,该低通滤波输出接第一微分电路,另一路与 $\sin(\omega_0 t)$ 相接,相乘后接第二低通滤波,该低通滤波输出接第二微分电路;第一微分电路输出与第二低通滤波输出相接,相乘后再与第二微分电路输出与第一低通滤波输出相接,相乘后再相接,相减后依次经积分、高通滤波,输出声波信号。

[0025] 本天然气管道泄漏检测传感器组的抗相位衰落系统的构成见图 1,它包括光源、光路系统和电路部分;在管道本体上每隔一定距离安装一个光纤传感器,相邻的多个光纤传感器构成一个光纤传感器组,各光纤传感器组共用一根发射光纤与光源连接,每个光纤传感器组使用一根回传光纤与光电探测器连接;光电探测器输出接包括泄漏信号识别电路和事件定位电路的信号采集与处理模块,信号采集与处理模块输出通过外部接口接微机。

[0026] 由光源发出激光,经传输光路实现分束后,部分光被传输到安装在管道壁上的光纤传感器组,光纤传感器组拾取沿管道传播的泄漏振动信号以及噪声后,再次经传输光路传回至系统的光电探测器,由信号采集与处理模块进行泄漏信号解调与识别分析,并对泄漏信号进行时延估计实现对泄漏点的定位。

[0027] 所述光纤传感器采用光纤迈克耳逊干涉仪或马赫-曾德干涉仪,干涉仪两臂不等长,两臂长差为 ΔL ;

[0028] 所述信号采集与处理模块包括信号调理单元、信号采集单元、处理单元、终端显示和外部接口;光电探测器输出依次串接信号调理单元、信号采集单元和处理单元;

[0029] 所述光源采用光频可调的激光器,使用调制信号模块产生所需的锯齿波或倒锯齿波调制信号,施加到激光器上可输出光频按照调制信号波形规律变化的连续激光;

[0030] 光源由光频可调的激光器和专用调制信号发生模块构成(见图 4);调制信号发生模块中产生的信号通过 DA 输出,接激光器调制信号输入端;调制信号发生模块输出信号有频率调节、幅度调节和锯齿波/倒锯齿波选择输入;

[0031] 使用调制信号模块产生所需的锯齿波或倒锯齿波调制信号,通过调制信号发生模块中的 D/A 输出,施加到激光器上可输出光频按照锯齿波或倒锯齿波规律变化的连续激光;

[0032] 其中光源调制电路如图 5 所示,它主要由运算放大器 U7、DFB 激光器 U8、运算放大器 U9 和 2 个三极管 Q4、Q5 组;U7 的 7 端接 VDC,6 端接电阻 R18 后与二极管 D8、电容 C41 串联后与电容 C38 并联的电路再串联,6 端接电阻 R19 后接 VDC,同时再接二极管 D4、D5、D6、

D7 的串联到地,4、7、8、9、10 端接地,3 端经电阻 R17 后接地,2 端与接 U8 的端;U8 的 1、14 端接地,12 端经电容 C34 接地,5、11 端接 VDC,4 端接 PDne,6 端接 TEC+,3 端经扼流圈 L3 与电阻 R20 串联后接三极管 Q4 的集电极,同时 3 端经扼流圈 L3 与电阻 R21 串联后接三极管 Q5 的集电极;U9 的 1、2 端之间并联电阻 R22 和电容 C39 后由 1 端接电阻 R25 到 6 端,Pdne 接电阻 R30 再串联电阻 R27 接 U9 的 3 端,同时接 Pdne 的电阻 R30 与电位器阻 R31、电阻 R32、电容 C43 三者并联后串联接地,5 端经电阻 R24 接 VREF,7 端经电阻 R28 与 8 端经电阻 R26 共接电容 C45 到地;从电容 C45 的上端接出经二极管 D11、D12 至 Q4 的基极,同时基极接电容 C44 到地,同时经二极管 D10 与电阻 R29 串联也到地,Q4 的基极接 Q5 的基极,而 Q4、Q5 的发射极接地;

[0033] 所述光路系统是在管道上每隔一定距离安装一个迈克耳逊干涉仪或马赫-曾德干涉仪作为管道泄漏声波传感器,同时激光器发出的激光通过与管道同沟敷设光缆内的一根光纤传输(称为发射光纤),激光到达每个传感器附近时,通过光分束器分为两束,一束激光注入传感器输入端,另一束激光通过发射光纤传到下一个传感器,以此类推;每 2-10 个相邻的传感器分为一组,组内各传感器的干涉信号通过光合束器接入回传光纤,传回到设备接收端;管道上相邻的两个传感器之间的发射光纤和回传光纤的长度均要大于激光器相干长度的 1/2,长度不足的用光纤补足,以防止传感器之间发生信号串扰;

[0034] 每个传感器组使用一根回传光纤,这样整个传感光路需要一根发射光纤,回传光纤数量与传感器组数量相同;

[0035] 由于每组内的传感器的臂长差不同,相邻传感器之间的发射光纤、回传光纤长度均大于激光器相干长度的 1/2,可保证组内各传感器输出干涉信号的频率各不相同,组内传感器之间不发生干涉;

[0036] 所述信号采集与处理模块包括信号调理单元、信号采集单元、处理单元、终端显示和外部接口;光电探测器输出的信号依次串接信号调理单元、信号采集单元和处理单元,处理单元输出有终端显示和外部接口;其中信号处理单元主要实现信号解调,事件识别与定位等功能。

[0037] 光电转换模块将各传感器组的干涉光信号转换为电信号,每个传感器组对应一个独立的光电转换通道;

[0038] 信号采集和处理模块采集各传感器组的干涉信号为数字信号,由于组内各干涉仪信号载波频率不同,且各干涉仪之间不发生干涉,也就是各干涉仪信号之间没有串扰,可通过带通滤波的方法将组内各传感器的载波信号彻底分离;

[0039] 带通滤波获得各传感器的载波信号后,通过相位载波调制解调技术,解调出原始泄漏声波信号;

[0040] 分析相邻两个传感器检测到的泄漏声波信号的时延差,结合声波在管道中传输速度,可实现泄漏点的定位;

[0041] 所述信号采集与处理模块的构成见图 8,它包括信号调理单元、信号采集单元、处理单元、显示终端和外部接口;其中调理单元电路如图 9 所示,它主要由运算放大器 U14、光电二极管 U15 组成;U15 的 1、5、8 端悬空,3、4 端接地,2 端经电阻 R39、电容 C60 二者并联后接 6 端,6 端经电阻 R43 接 U14 的 3 端,7 端接 U14 的 8 端;U14 的 4 端接地,5 端悬空,6、7 端共接 AD_VINI,1 端接 AD_OUT 口,2 端经电阻 R42 接地,1、2 端之间接电阻 R40、电容 C59

二者的并联。

[0042] 其中传感器载波信号的解调原理框图见图 6, 干涉信号输出接带通滤波, 带通滤波输出一路与 $\cos(\omega_0 t)$ 相接 (相乘) 后接第一低通滤波, 该低通滤波输出接第一微分电路, 另一路与 $\sin(\omega_0 t)$ 相接, 相乘后接第二低通滤波, 该低通滤波输出接第二微分电路; 第一微分电路输出与第二低通滤波输出相接, 相乘后再与第二微分电路输出与第一低通滤波输出相接, 相乘后再相接, 相减后依次经积分、高通滤波, 输出声波信号。

[0043] 利用与油气管道同沟敷设的普通通信光缆中光纤分别作为发射和回传光纤, 将管道泄漏光纤传感器通过光复用技术相互并联接在收发传输光纤之间, 形成光回路, 管道泄漏光纤传感器均匀布设在管道沿线, 形成可监测管道泄漏振动的光纤传感系统。利用光源对各个管道泄漏光纤传感器扫描, 基于法拉第旋转镜法, 实现传感器组及组内各传感器的干涉信号的抗偏振衰落, 提高并稳定了传感器及传感器组干涉信号的可视度和信噪比, 使用光电转换模块将各传感器组的干涉光信号转换为电信号, 每个传感器组对应一个独立的光电转换通道, 由信号采集和处理模块采集各传感器组的干涉信号为数字信号, 并可通过带通滤波的方法将组内各传感器的载波信号彻底分离, 通过相位载波调制解调技术, 解调出原始泄漏振动波信号; 分析相邻几个传感器检测到的泄漏振动波信号的时延差, 结合振动波在管道中传输速度, 可实现泄漏点的定位。应用多传感器复用调制解调技术从而大大提高了传感器组内传感器的复用数量, 减少了光纤的使用数量, 在保持系统检测效果的前提下, 降低了系统复杂程度和成本。

[0044] 本发明基于锯齿波或倒锯齿波调制的激光器作为光源, 以及不等臂长的迈克耳逊干涉仪或马赫-曾德干涉仪作为传感器, 在干涉仪信号中产生近似单频的余弦信号载波, 使用与载波信号同频的余弦和正弦信号对载波信号进行解调, 得到原始泄漏声波信号, 可以有效地消除相位衰落引起的灵敏度和信噪比不稳定的问题, 实现对泄漏信号的可靠检测。

附图说明

[0045] 图 1 光纤传感天然气管道泄漏监测系统

[0046] 图 2 天然气管道泄漏检测的传感光路连接示意图

[0047] 图 3 迈克耳逊干涉仪结构示意图

[0048] 图 4 光频可调型光源的调制原理图

[0049] 图 5 光源调制电路图

[0050] 图 6 泄漏振动波解调原理框图

[0051] 图 7 光路适配器结构和传输光路图

[0052] 图 8 信号采集与处理模块结构图

[0053] 图 9 信号采集与处理模块中信号调理单元电路图

[0054] 其中 1, 1-1, ..., 1-n- 光分束器 2, 2-1, ..., 2-n- 光纤传感器 3, 3-1, ..., 3-n- 光合束器 4, 5, 6, 7, 8, 9- 延时光纤

具体实施方式

[0055] 实施例: 本例的构成如图 1 和图 2 所示, 它包括光源、光路系统和电路部分; 在管

道本体上每隔 1.5km 安装一个光纤传感器,共计安装 10 个传感器,前 5 个传感器和后 5 个传感器分别构成一个传感器组,各光纤传感器组共用一根发射光纤与光源连接,每个光纤传感器组使用一根回传光纤与光电探测器连接;光电探测器输出接包括泄漏信号识别和事件定位功能的信号采集与处理模块,所述信号采集与处理模块包括信号调理单元、信号采集单元、处理单元、终端显示和外部接口;光电探测器输出的信号依次串接信号调理单元、信号采集单元和处理单元,处理单元输出有终端显示和外部接口。信号采集与处理模块输出通过外部接口接微机。经信号采集与处理模块的处理,基于频分复用方式混合的传感器组信号实现了传感器组内各传感器的解复用,获得原始泄漏振动波信号。

[0056] 传感器采用迈克耳逊结构的干涉仪,每个干涉仪使用两个旋转角度为 45 度的法拉第旋转镜作为反射镜。本实施例制作了 10 个迈克耳逊干涉仪传感器,分为两组,每组 5 个传感器,臂长差分别为 5m、7.5m、10m、12.5m、15m;

[0057] 将两组传感器按照图 2 并联接在发射光纤和回传光纤之间,两个传感器组共用一根发射光纤,各独立使用一根回传光纤;

[0058] 从发射光纤注入光频随锯齿波变化的激光,从回传光纤用光电转换模块接收传感器组干涉信号,使用带通滤波器对干涉信号滤波,获得各传感器的载波信号。通过试验可知,传感器组和滤波后的传感器载波信号幅度稳定不变,解调后的传感器信号稳定,信噪比高且保持稳定。

[0059] 所述光源是一种调制解调的专用光源系统,由光频可调的激光器和专用调制信号发生模块构成(见图 4);调制信号发生模块采用数字方式实现,即通过数字方式根据波型、信号幅度、频率参数计算获得一个周期的调制信号片断,然后通过数模转换(D/A)方式输出,输出的模拟调制信号连接到激光器上,其中通过参数配置选择锯齿波或倒锯齿波调制信号类型,可调整设置信号幅度、直流偏置和频率;调制信号发生模块输出的锯齿波或倒锯齿波信号要求幅度最大为 $\pm 5V$,频率最大为 200KHz;调制后的激光器输出光频随调制信号波形同步变化的激光,输入到传感光路中,可实现传感器的复用、形成多个传感器的信号载波;

[0060] 其中光源调制电路如图 5 所示,它主要由运算放大器 U7、DFB 激光器 U8、运算放大器 U9 和 2 个三极管 Q4、Q5 组;U7 的 7 端接 VDC,6 端接电阻 R18 后与二极管 D8、电容 C41 串联后与电容 C38 并联的电路再串联,6 端接电阻 R19 后接 VDC,同时再接二极管 D4、D5、D6、D7 的串联到地,4、7、8、9、10 端接地,3 端经电阻 R17 后接地,2 端与接 U8 的端;U8 的 1、14 端接地,12 端经电容 C34 接地,5、11 端接 VDC,4 端接 PDne,6 端接 TEC+,3 端经扼流圈 L₃ 与电阻 R20 串联后接三极管 Q4 的集电极,同时 3 端经扼流圈 L₃ 与电阻 R21 串联后接三极管 Q5 的集电极;U9 的 1、2 端之间并联电阻 R22 和电容 C39 后由 1 端接电阻 R25 到 6 端,PDne 接电阻 R30 再串联电阻 R27 接 U9 的 3 端,同时接 PDne 的电阻 R30 与电位器阻 R31、电阻 R32、电容 C43 三者并联后串联接地,5 端经电阻 R24 接 VREF,7 端经电阻 R28 与 8 端经电阻 R26 共接电容 C45 到地;从电容 C45 的上端接出经二极管 D11、D12 至 Q4 的基极,同时基极接电容 C44 到地,同时经二极管 D10 与电阻 R29 串联也到地, Q4 的基极接 Q5 的基极,而 Q4、Q5 的发射极接地;

[0061] 所述信号采集与处理模块的构成见图 8,它包括信号调理单元、信号采集单元、处理单元、显示终端和外部接口;其中调理单元电路如图 9 所示,它主要由运算放大器 U14、光

电二级管 U15 组成 ;U15 的 1、5、8 端悬空,3、4 端接地,2 端经电阻 R39、电容 C60 二者并联后接 6 端,6 端经电阻 R43 接 U14 的 3 端,7 端接 U14 的 8 端 ;U14 的 4 端接地,5 端悬空,6、7 端共接 AD_VINI,1 端接 AD_OUT 口,2 端经电阻 R42 接地,1、2 端之间接电阻 R40、电容 C59 二者的并联 ;其中运算放大器 U14 选 AD8572,光电二级管 U15 选 OPA380AID。

[0062] 本例光源采用光频可调制的半导体激光器作为光源,所加调制信号为频率 10kHz、幅度 $\pm 1.4\text{V}$ 的锯齿波信号,加到激光器上 ;传感光路使用两组迈克耳逊干涉仪结构的传感器并联接在发射光纤和回传光纤之间,传感器组输出的干涉信号频谱主要由 40kHz、60kHz、80kHz、100kHz、120kHz 五条谱线构成 ;使用上述五个频率为中心频率、带宽均为 10kHz 的带通滤波器对传感器组信号进行滤波,得到各传感器的载波信号,对应的主频率分别为 40kHz、60kHz、80kHz、100kHz、120kHz ;对各载波信号分别使用同频的余弦和正弦信号进行解调,获得各传感器对应的原始模拟泄漏声波信号 ;在每个传感器的一个臂上串联一个 PZT 相位调制器,施加幅度为 0.5V、频率为 2kHz 的余弦信号作为模拟泄漏声波信号,通过上述方法解调出的信号为 2kHz 的余弦信号,通过长时间监测,各传感器解调的信号幅度稳定,说明本发明的抗相位衰落方法有效,可以实现泄漏信号的稳定检测。

[0063] 本例经多次试验,证明了本发明中针对传感器组和组内传感器的抗相位衰落技术是有效的,大大提高了系统检测信号的灵敏度和稳定性,从而也提高了传感器组内传感器的复用数量,降低了复用成本。

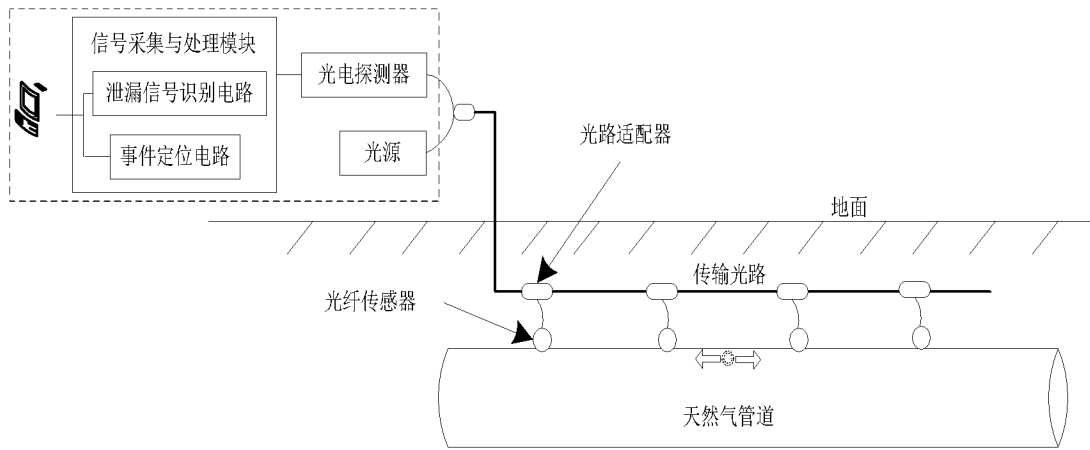


图 1

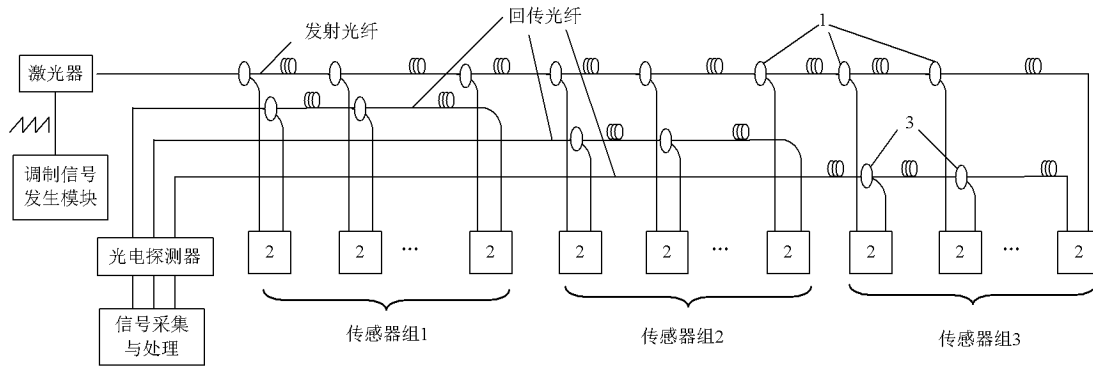


图 2

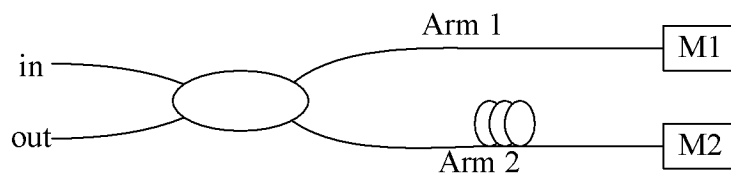


图 3

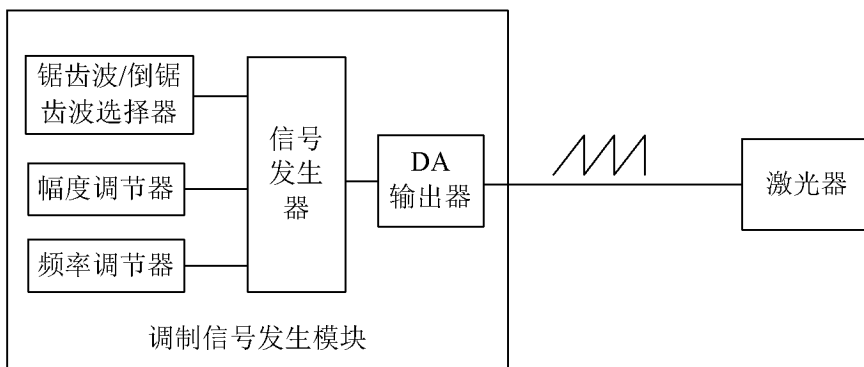


图 4

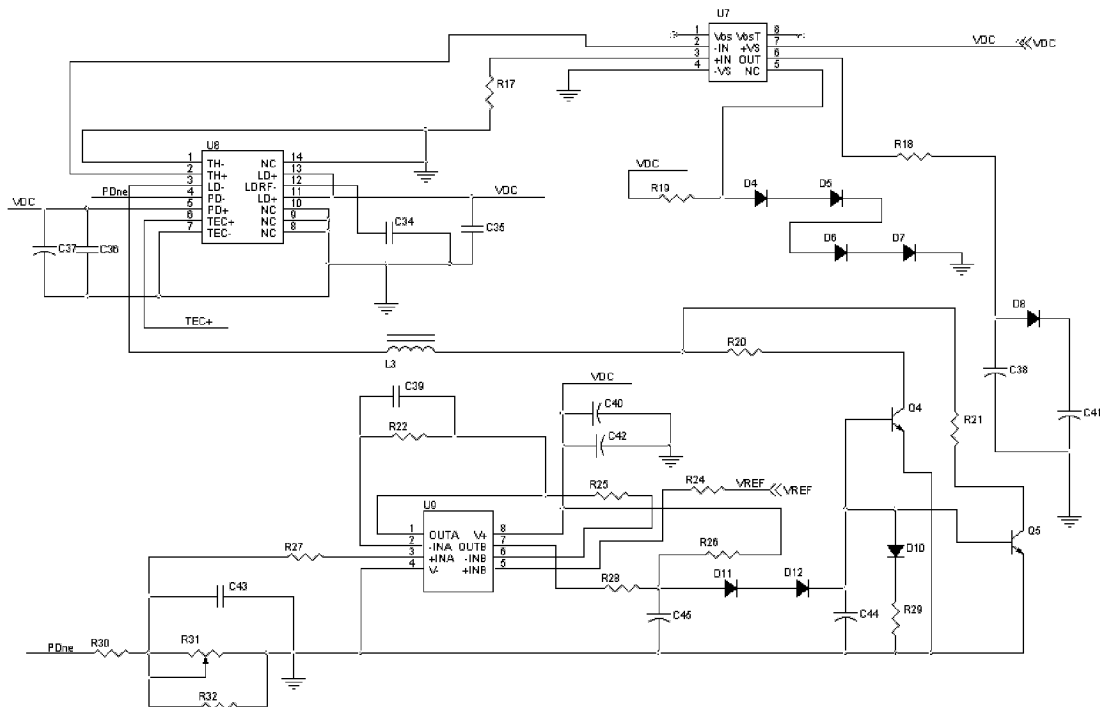


图 5

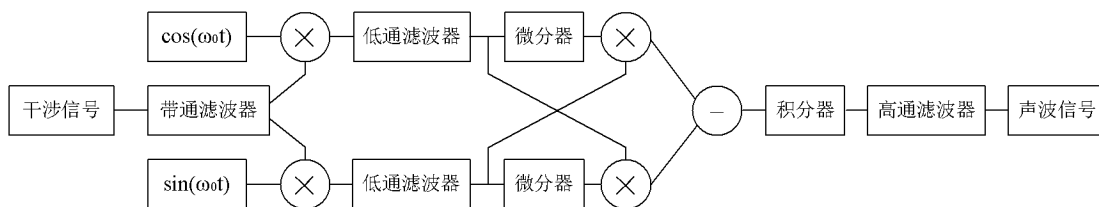


图 6

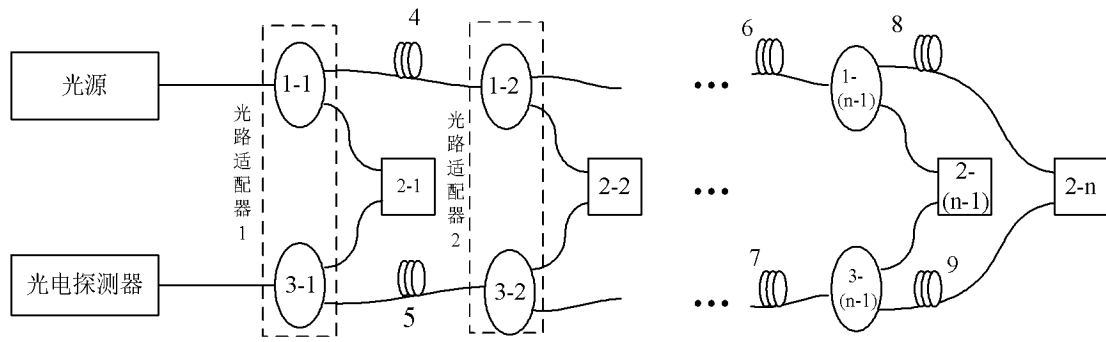


图 7

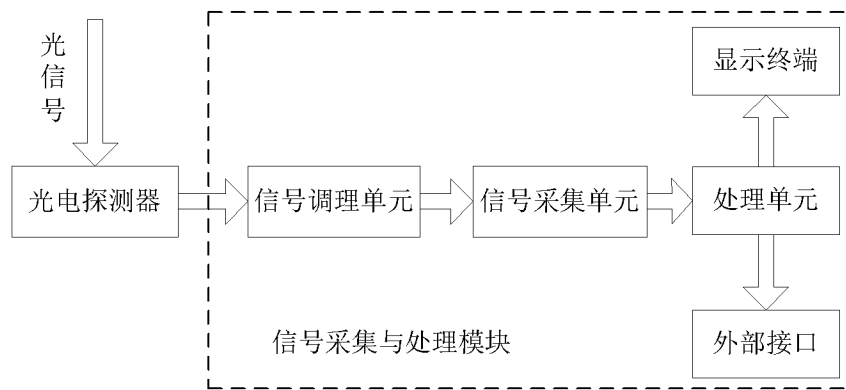


图 8

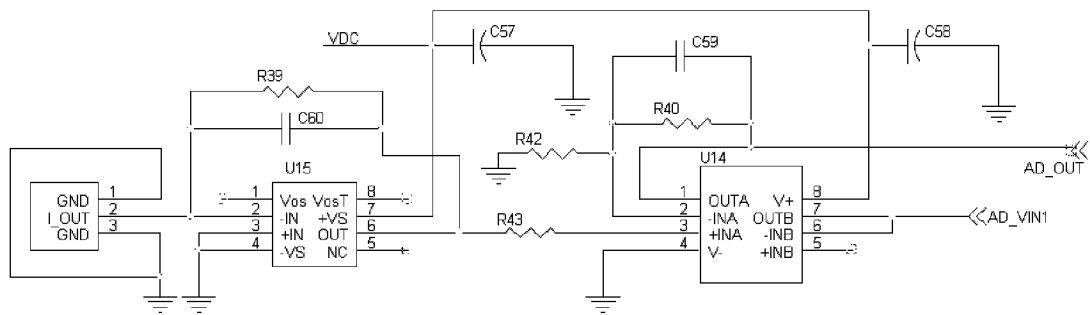


图 9