(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 112781654 B
(45)授权公告日 2023.03.17

(21)申请号 202011639224.9
(22)申请日 2020.12.31
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112781654 A
(43)申请公布日 2021.05.11
(73)专利权人 西南交通大学
地址 610031 四川省成都市金牛区二环路北一段111号
(72)发明人 刘凯腾 许智亮 王诗琦 廖进
(74)专利代理机构 北京正华智诚专利代理事务所(普通合伙) 11870
专利代理师 李梦蝶
(51)Int.Cl.
G01D 21/02(2006.01)
B61K 9/10(2006.01)

(56)对比文件
CN 107328496 A,2017.11.07
CN 103215865 A,2013.07.24
CN 206736642 U,2017.12.12
CN 203890821 U,2014.10.22
CN 111452830 A,2020.07.28
CN 101264767 A,2008.09.17
崔圣爱等.多线铁路车桥耦合振动仿真研究.《西南交通大学学报》.2017,(第05期),
Chunfang Lu等.Overview on safety management and maintenance of high-speed railway in China.《Transportation Geotechnics》.2020,第1-8页.

审查员 张雅勤

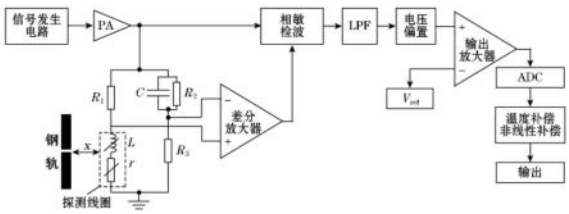
权利要求书2页 说明书4页 附图1页

(54)发明名称

一种有缝钢轨缝隙故障检测系统

(57)摘要

本发明提供了一种有缝钢轨缝隙故障检测系统,涉及有缝钢轨维护技术领域,其包括红外线发射器、红外线接收器、定位模块、振动检测器和电涡流位移检测系统,若干红外线接收器沿铁路沿线安装于钢轨缝隙外侧,红外线接收器上连接有定位模块和无线通信模块;红外线发射器安装于列车朝向红外线接收器一侧,振动检测器安装于列车车轮上,电涡流位移检测系统包括电涡流位移检测器和位移测量系统,红外线发射器、振动检测器和电涡流位移检测系统连接于车载计算机上,车载计算机与红外线接收器通信连接。解决了现有技术中人工检查有缝铁路缝隙处的故障准确性和及时性差的问题。



CN 112781654 B

1.一种有缝钢轨缝隙故障检测系统,其特征在于,包括检测系统和检测方法,所述检测系统包括红外线发射器、红外线接收器、定位模块、振动检测器和电涡流位移检测器,若干所述红外线接收器沿铁路沿线安装于钢轨缝隙外侧,所述红外线接收器上连接有定位模块和无线通信模块;所述红外线发射器安装于列车朝向所述红外线接收器一侧,所述振动检测器安装于列车车轮上,电涡流位移检测系统包括电涡流位移检测器和位移测量系统,所述电涡流位移检测器包括通过支架安装于列车上的水平位移探头和竖直位移探头,所述红外线发射器、振动检测器和所述电涡流位移检测器连接于车载计算机上,所述车载计算机与所述红外线接收器通信连接,所述水平位移探头位于钢轨缝隙的水平方向的内侧,所述竖直位移探头位于钢轨缝隙的上方;

所述检测方法包括以下步骤:

S1:列车沿着铁路运行过程中,车载计算机通过振动检测器实时获得车轮的振动信号,通过电涡流位移检测器获得钢轨缝隙的水平宽度和竖直宽度,每次红外线接收器接收到红外线发射器发射的红外线时都将定位模块的位置反馈给车载计算机;

S2:对振动信号进行预处理后输入到车载计算机中,车载计算机判断振动信号的振动频率和振幅是否超过振动阈值;

若振动频率和振幅任一超出振动阈值,则获取同位置处的钢轨缝隙的水平宽度值和竖直宽度值;

若振动频率和振幅均未超出振动阈值,则运行正常;

S3:判断水平宽度值或竖直宽度值是否有任一值超出阈值;

若是:则计算出水平宽度值或竖直宽度值超出阈值的量并结合位置坐标进行记录并输出;

若否:则记录位置坐标后反馈给整个铁路网的控制中心,控制中心接收所有列车的反馈,若同一位置处多趟列车在一段时间内都有同样的反馈,则得出该车轮的不对中产生的振动信号为该位置处的钢轨裂缝产生,否则不是。

2.根据权利要求1所述的有缝钢轨缝隙故障检测系统,其特征在于,所述位移测量系统包括信号发生模块、信号提取模块、相敏检波模块、后级输出模块和信号补偿模块,所述信号提取模块用于将所述电涡流位移检测器测得的位移的变化转化为电压量变化并进行放大,所述信号发生模块用于产生激励信号,所述相敏检波模块用于将位移信号进行解调并滤除交流信号后输出直流信号,所述后级输出模块用于放大输出信号和提高传感器的输出灵敏度,所述信号补偿模块用于对位移信号进行非线性校正和温度补偿。

3.根据权利要求2所述的有缝钢轨缝隙故障检测系统,其特征在于,所述信号发生模块包括正弦信号发生电路和功率放大电路,所述正弦信号发生电路用于产生1MHz的正弦激励信号。

4.根据权利要求2所述的有缝钢轨缝隙故障检测系统,其特征在于,所述信号提取模块包括电桥电路和前置差分放大电路。

5.根据权利要求1所述的有缝钢轨缝隙故障检测系统,其特征在于,所述定位模块为GPS模块,所述红外线接收器、无线通信模块和所述定位模块与单片机电连接。

6.根据权利要求1所述的有缝钢轨缝隙故障检测系统,其特征在于,所述振动检测器包括依次连接的信号采集模块和信号调理模块,所述信号采集模块用于将车轮的振动信号转

化为电压信号,所述信号调理模块用于整形不规则的电压信号。

7.根据权利要求6所述的有缝钢轨缝隙故障检测系统,其特征在于,所述信号采集模块为ST190500型磁电式振动速度传感器。

8.根据权利要求6所述的有缝钢轨缝隙故障检测系统,其特征在于,所述信号调理模块包括依次连接的积分电路、比例放大电路和检峰电路,所述积分电路为使用由放大器LM324构成的有源积分电路。

一种有缝钢轨缝隙故障检测系统

技术领域

[0001] 本发明涉及有缝钢轨维护技术领域，特别是涉及一种有缝钢轨缝隙故障检测系统。

背景技术

[0002] 在铁路运输系统中，钢轨起着支撑列车的作用，目前我国还有相当一部分的铁路还是有缝线路，由于钢轨之间本身就具有缝隙，当列车高速通过缝隙时，会产生强烈的冲击和震动，不仅影响列车的平稳运行还会影响钢轨的使用寿命，特别是重载列车，对于钢轨的损伤更是严重。这就导致钢轨之间的缝隙由于冲击等原因增大或者出现裂痕、扭曲甚至断裂的损坏，现有技术中的有缝铁路大多是很早之前建造的铁路，此种铁路的维护也多采用人工巡逻检查的方式，人工巡逻无法保证精准性和及时性，当这些损坏未能及时被铁路检修人员发现进行维修，极可能造成列车脱轨等重大事故。

发明内容

[0003] 针对现有技术中的上述问题，本发明提供了一种有缝钢轨缝隙故障检测系统，解决了现有技术中人工检查有缝铁路缝隙处的故障准确性和及时性差的问题。

[0004] 为了达到上述发明目的，本发明采用的技术方案如下：

[0005] 提供一种有缝钢轨缝隙故障检测系统，其包括红外线发射器、红外线接收器、定位模块、振动检测器和电涡流位移检测器，若干红外线接收器沿铁路沿线安装于钢轨缝隙外侧，红外线接收器上连接有定位模块和无线通信模块；红外线发射器安装于列车朝向红外线接收器一侧，振动检测器安装于列车车轮上，电涡流位移检测系统包括电涡流位移检测器和位移测量系统，电涡流位移检测器包括通过支架安装于列车上的水平位移探头和竖直位移探头，红外线发射器、振动检测器和电涡流位移检测器连接于车载计算机上，车载计算机与红外线接收器通信连接。

[0006] 本发明的有益效果为：本方案中的有缝钢轨缝隙故障检测系统在每个钢轨裂缝处设置红外线接收器，行进的列车上的红外线发射器发射的红外线被红外线接收器接收后将该处位置信息进行反馈，从而将位置信息与车轮在此处的振动情况和此处钢轨裂缝宽度对应起来，当发现钢轨裂缝宽度和/或车轮的振动情况优异，便于能够快速地找到故障点，提高了及时性和准确性。

附图说明

[0007] 图1为电涡流位移检测系统的电路原理图。

[0008] 图2为位移测量系统中信号发生模块的电路原理图。

[0009] 图3为位移测量系统中信号提取模块电路原理图。

具体实施方式

[0010] 下面对本发明的具体实施方式进行描述，以便于本技术领域的技术人员理解本发明，但应该清楚，本发明不限于具体实施方式的范围，对本技术领域的普通技术人员来讲，只要各种变化在所附的权利要求限定和确定的本发明的精神和范围内，这些变化是显而易见的，一切利用本发明构思的发明创造均在保护之列。

[0011] 该有缝钢轨缝隙故障检测系统包括红外线发射器、红外线接收器、定位模块、振动检测器和电涡流位移检测系统，若干红外线接收器沿铁路沿线安装于钢轨缝隙外侧，红外线接收器上连接有定位模块和无线通信模块；红外线发射器安装于列车朝向红外线接收器一侧，振动检测器安装于列车车轮上，电涡流位移检测系统包括电涡流位移检测器和位移测量系统，电涡流位移检测器包括通过支架安装于列车上的水平位移探头和竖直位移探头，红外线发射器、振动检测器和电涡流位移检测系统连接于车载计算机上，车载计算机与红外线接收器通信连接。

[0012] 本系统邻近列车的某一个车轮设置，在列车行进过程中，每辆列车上仅安装有一个红外线发射器，红外线发射器会不间断地发射红外线，只有在有钢轨裂缝的地方才有红外线接收器，当红外线接收器接收到红外线后说明列车行进到该红外线接收器处，红外线接收器接收到红外线信号后，其连接的微处理器将所连接的定位模块的定位信息通过无线通信传输给该列车的车载计算机，从而获得此时列车设置有红外线发射器部分所经过的铁路裂缝的位置信息。从而给连续的振动信号和位移信号标记位置坐标，方便在检查出故障以后能够快速地找到故障点。

[0013] 水平位移探头位于钢轨缝隙的水平方向的内侧，从而可以检测出钢轨缝隙沿竖直方向的宽度作为竖直宽度值，竖直位移探头位于钢轨缝隙的上方，用于检测钢轨缝隙沿钢轨长度方向的宽度作为水平宽度值。

[0014] 电涡流位移检测系统包括电涡流位移检测器和位移测量系统，电涡流位移检测器连接于位移测量系统中，位移测量系统包括信号发生模块、信号提取模块、相敏检波模块、后级输出模块和信号补偿模块。原理如图1所示，信号提取模块用于将电涡流位移检测器测得的位移的变化转化为电压量变化并进行放大，信号发生模块用于产生激励信号，相敏检波模块用于将位移信号进行解调并滤除交流信号后输出直流信号，后级输出模块用于放大输出信号和提高传感器的输出灵敏度，信号补偿模块用于对位移信号进行非线性校正和温度补偿。

[0015] 信号发生模块包括正弦信号发生电路和功率放大电路，正弦信号发生电路用于产生1MHz的正弦激励信号，其原理图如图2所示，有源温补晶振振荡产生1MHz的方波信号，常温下频率稳定性为0.1ppm/℃，-40～80℃温度频差为1.5ppm/℃，频率稳定性高(1ppm＝10-6)。从1MHz的方波中获取1MHz的正弦波，其原理是对方波信号进行傅里叶级数展开，展开式为

[0016]
$$f(t)=\frac{2E}{\pi}(\sin w_0t+\frac{1}{3}\sin 3w_0t+\frac{1}{5}\sin 5w_0t+\cdots+\frac{1}{n}\sin\ nw_0t)(n=1,3,5,7\cdots)$$

[0017] 展开式中包含一次谐波和多次谐波，利用低通滤波器滤除方波信号中的二次和二次以上的谐波分量，保留一次谐波即可得到1MHz的正弦信号。本方案中使用高速运算放大

器AD817设计截止频率为1.5MHz的四阶有源低通滤波器进行滤波。由于信号发生电路产生的激励信号电流较小,驱动能力较弱,需要进行功率放大以驱动线圈。本方案选用电流反馈运算放大器THS3095构成反向放大器,该运放宽带宽,低失真,电流驱动能力高达250mA。

[0018] 信号提取模块包括电桥电路和前置差分放大电路,目的是将被测位移的变化转化为电压量变化并进行放大,其原理图如图3所示。电桥电路中P是探测线圈,传统的电桥方案使用和探测线圈同阻抗的参考线圈使得电桥达到平衡,本方案中使用并联型电阻电容替代参考线圈。探测线圈可近似看作电阻和电感的串联,分别记做r和L,电桥的平衡条件为

[0019] $$\frac{R_{10}}{r+\mathrm{j}wL}=\frac{R_9//\frac{1}{\mathrm{j}wC_{17}}}{R_{11}}$$

[0020] 即满足

[0021] $$R_9=\frac{L}{rC_{17}},R_{11}=\frac{rR_9}{R_{10}}$$

[0022] 所以,通过合理选取电桥的其他参数,使电桥达到平衡。

[0023] 在图1中,探测线圈作为电桥电路中的一支桥臂,在信号发生电路产生的激励信号施加到电桥电路中,利用差分放大器放大电桥信号,输入到相敏检波电路中,经过相敏检波电路进行解调,通过低通滤波器(LPF)滤掉交流信号获取直流信号,解调出来的直流信号经过电压正偏置后由输出放大器进行零电位调整和放大,再由模拟数字转换器(ADC)采集该信号,通过软件求出拟合方程,并利用微处理器进行信号的非线性校正和温度补偿,最后将位移测量结果输入到车载计算机中。

[0024] 上述电涡流位移检测器连接的位移测量系统,利用具有较高分辨率和系统稳定性的交流电桥法、高性能仪表放大器和高精度低温漂器件设计传感器位移测量系统的硬件电路,并对输出信号进行非线性补偿和温度补偿,具有高精度、高稳定性、高可靠性及抗干扰能力强的优点,使得测量的钢轨缝隙变化的精度更高,故障检测更加准确。

[0025] 定位模块为GPS模块,红外线接收器、无线通信模块和定位模块与单片机电连接。无线通信模块优选蓝牙模块。

[0026] 振动检测器包括依次连接的信号采集模块和信号调理模块,信号采集模块用于将车轮的振动信号转化为电压信号,信号调理模块用于整形不规则的电压信号,整形包括积分、放大、峰值检测等,然后利用A/D转换电路将模拟信号转为数字信号,送入车载计算机进行比较处理。

[0027] 信号采集模块固定在车轮辐板上,能够实时采集振动信号。信号采集模块优选为ST190500型磁电式振动速度传感器,其具有20V/mm/S～50m V/mm/S的灵敏度,5Hz～1000Hz的频率响应,该振动速度传感器不需要辅助电源就能把被测对象的振动量转换成电信号,是一种有源传感器。

[0028] 信号调理模块包括依次连接的积分电路、比例放大电路和检峰电路,将振动速度传感器输出的电压信号通入积分电路,然后对积分电路输出的信号进行比例放大,再对限幅后信号的峰值进行稳定,以便于后续A/D采样。

[0029] 积分电路为使用由放大器LM324构成的有源积分电路,振动速度传感器输出的电压信号S_a输入到放大器的V_+端。有源积分电路的作用是作为低通滤波器,滤除传感器输出信

号中的高频干扰分量;另外是对信号的正负脉冲进行积分,这样可以使脉冲信号变得比较平稳,甚至接近三角波信号。由于振动速度传感器的输出信号的频率约为10Hz～1000Hz,因此只需选取合理的电阻、电容器件,即可滤除传感器输出信号中的高频分量,而由于此电路又有积分的作用,因而可以对正负的脉冲信号进行积分,使输出的电压信号转换成正负尖脉冲信号。

[0030] 上述振动检测器通过磁电式振动速度传感器完成振动信号的采集,通过信号调理模块来获得稳定的峰值信号,最后通过A/D转换后送入车载计算机中,通过车载计算机判断振动值,能够适应于列车运行时车轮的运行环境,并获得较高的测量精度。

[0031] 利用上述的有缝钢轨缝隙故障检测系统进行检测的方法包括:

[0032] 列车沿着铁路运行过程中,车载计算机通过振动检测器实时获得车轮的振动信号,通过电涡流位移检测器获得钢轨缝隙的水平宽度和竖直宽度,每次红外线接收器接收到红外线发射器发射的红外线时都将定位模块的位置坐标反馈给车载计算机。

[0033] 对振动信号进行预处理后输入到车载计算机中,车载计算机判断振动信号的振动频率和振幅是否超过振动阈值,振动阈值是车轮在平稳的钢轨上行走时振动频率和振幅的最大值和最小值。

[0034] 若振动频率和振幅任一超出阈值,则获取同位置处的钢轨缝隙的水平宽度值和竖直宽度值,判断水平宽度值或竖直宽度值是否有任一值超出缝宽阈值,

[0035] 若是,则计算出水平宽度值或竖直宽度值超出阈值的量并结合位置坐标进行记录并输出;

[0036] 若否,则记录位置坐标后反馈给整个铁路网的控制中心,控制中心接收所有列车的反馈,若同一位置处多趟列车在一段时间内都有同样的反馈,则得出该车轮因不对中产生的振动信号由该位置处的钢轨裂缝产生,否则不是。

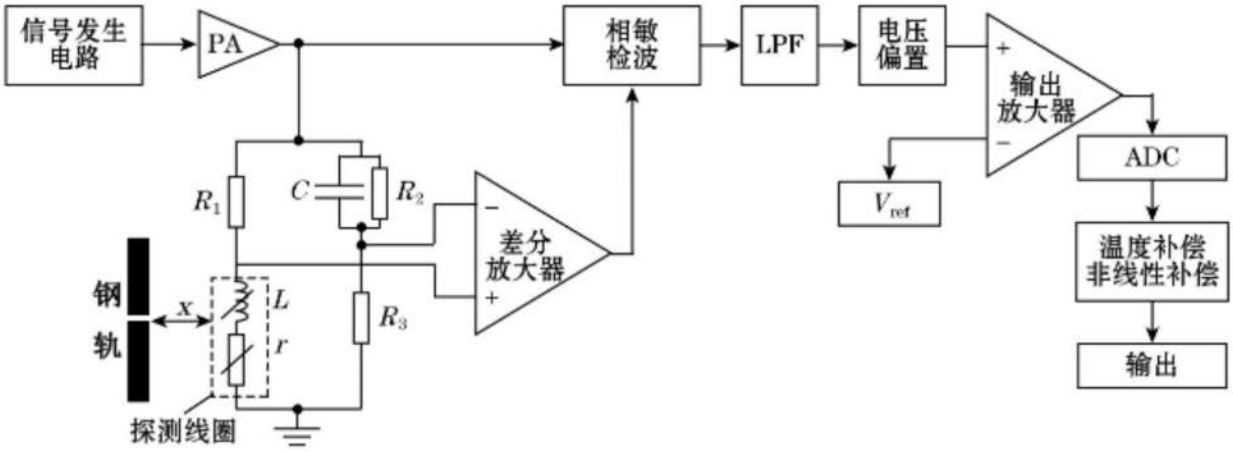

信号发生电路
PA
相敏检波
LPF
电压偏置
输出放大器
ADC
温度补偿非线性补偿
输出
V_{ref}
差分放大器
R_1
C
R_2
R_3
L
r
x
钢轨
探测线圈

图1

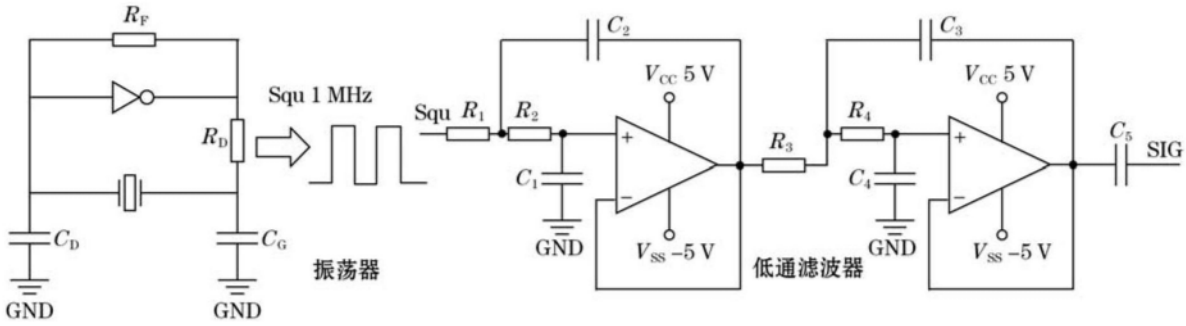

R_F
R_D
C_D
C_G
GND
GND
Squ 1 MHz
振荡器
Squ
R_1
R_2
C_2
C_1
V_{CC} 5 V
V_{SS} −5 V
GND
R_3
低通滤波器
C_3
R_4
C_4
V_{CC} 5 V
V_{SS} −5 V
GND
C_5
SIG

图2

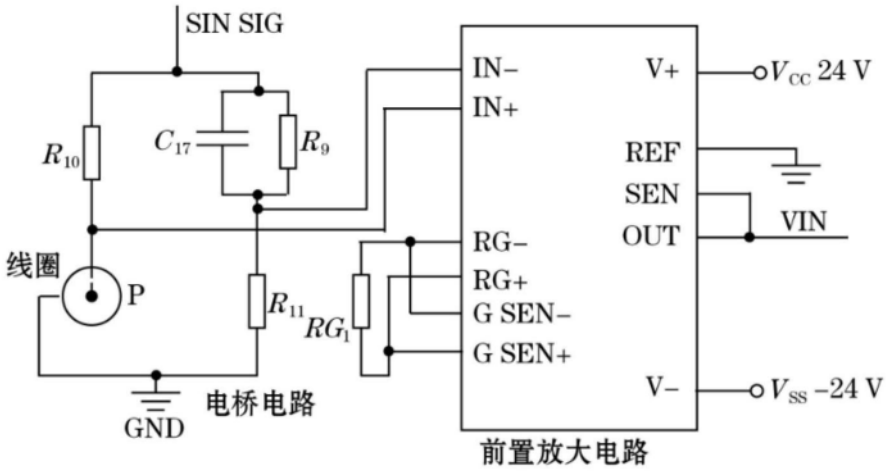

SIN SIG
R_{10}
C_{17}
R_9
线圈
P
R_{11}
RG_1
GND
电桥电路
IN−
IN+
RG−
RG+
G SEN−
G SEN+
V+
REF
SEN
OUT
V−
V_{CC} 24 V
VIN
V_{SS} −24 V
前置放大电路

图3