



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 118376233 B

(45) 授权公告日 2024. 10. 18

(21) 申请号 202410815333.3

(22) 申请日 2024.06.24

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 118376233 A

(43) 申请公布日 2024.07.23

(73) 专利权人 国网江西省电力有限公司电力科学研究院

地址 330000 江西省南昌市青山湖区民营科技园民强路88号

专利权人 国家电网有限公司

南昌科晨电力试验研究有限公司

(72) 发明人 李帆 卢志学 梅宇聪 童超 华桦 傅闽豪

(74) 专利代理机构 南昌丰择知识产权代理事务所(普通合伙) 36137

专利代理师 吴称生

(51) Int.Cl.

G01C 21/00 (2006.01)

G01C 9/00 (2006.01)

G01B 7/02 (2006.01)

G06F 17/14 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 219608100 U, 2023.08.29

CN 114234922 A, 2022.03.25

审查员 刘兴军

权利要求书6页 说明书13页 附图5页

(54) 发明名称

基于空时频压电球的输电铁塔姿态检测方法

(57) 摘要

本发明公开了基于空时频压电球的输电铁塔姿态检测方法,该方法包括如下步骤:在空间时间频率压电球球面布设若干个压电传感芯片用于感知三维不同球心角力以及球心角力加速度,并通过本球空时频信号处理推算相对于重力线的静止姿态以及动态加速度。空时频压电球固定在铁塔塔柱的各个位置,球安装时相对于地球重力场有固定的三维倾斜信息。由于铁塔各处有各自不同的本振频率,因此通过对比铁塔的各个模块信息判断铁塔震动的类型。将实时的数据与原始数据进行对比,可以获得铁塔倾斜的角度和动态的空时频历史信息,用于估算铁塔的疲劳变形。相邻铁塔通过MESH网络通信进行数据的对比分析还可以推导铁塔间线路弧垂的大小。



1. 基于空时频压电球的输电铁塔姿态检测方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤S1:在铁塔的不同位置上布设M个空间时间频率压电球;

所述空间时间频率压电球由外球壳以及内球体组成,外球壳和内球体之间设置弹性夹层进行隔离,外球壳内表面安装N个压电传感芯片;外球壳上设置有处理模块;

步骤S2:运算获得相对于重力线的空间时间频率压电球姿态以及动态加速度力的信息,根据运算得到的信息计算由塔体倾斜引起的弧垂变化;

多个空间时间频率压电球之间的信息交互采用MESH网络实现;

当空间时间频率压电球静止状态下时,外球壳内表面压电传感芯片感知内球体对压电传感芯片产生的球心角方向的力,其中,垂直于地面的地球重力线方向上的压电传感芯片获得最大的压力,通过信息传导空间时间频率压电球上全部压电信息在处理模块上生成球面压力矩阵;

当空间时间频率压电球动态状态下,外球壳内表面压电传感芯片感知内球体对压电传感芯片产生的球心角方向的加速度力,外球壳移动,反方向上弹性夹层压缩后,间隙变小,由静态获得附加加速度力,通过信息传导空间时间频率压电球上全部压电信息在处理模块上生成球面附加加速度力矩阵;

处理模块包括供电电源、多路器、信号放大模块、模拟数字转换模块、时域相关运算器、球体空时频综合器和铁塔空时频综合器;供电电源用于为多路器、信号放大模块、模拟数字转换模块、时域相关运算器、球体空时频综合器和铁塔空时频综合器提供电源;多路器、信号放大模块、模拟数字转换模块、多路数字信号恢复模块、时域相关运算器、球体空时频综合器和铁塔空时频综合器依次连接;

步骤S2的具体过程为:

步骤S2.1、N个压电传感芯片由供电电源供电,N个压电传感芯片采集的并行压电信号依次输入多路器中,转换为串行压电信号输入至信号放大模块予以放大;将放大的信号通过模拟数字转换模块转换为12位数字信号,12位数字信号通过多路数字信号恢复模块恢复为多路电路输出;

步骤S2.2、通过时域相关运算器对时域信号即通过多路数字信号恢复模块恢复的多路电路输出进行相关运算;具体的,对第*i*个压电传感芯片的时域信号 $T_i(n)$ 做自相关运算,当空间时间频率压电球处于静态时,第*i*个压电传感芯片的时域信号自相关运算结果 $R_i(0)$ 表现为冲激响应;当空间时间频率压电球处于动态情况下产生振动时,时域信号表现为周期性;

在时域相关运算器中对两个压电传感芯片的时域信号相互做互相关运算,通过对不同数值长度*l*的运算,获得第*i*个压电传感芯片与第*j*个压电传感芯片之间的互相关值 $R_{ij}(\tau)$;当空间时间频率压电球处于静态时, $R_{ij}(\tau)$ 表现为冲激响应;当空间时间频率压电球处于动态情况时,选择具有最大数值的相关值代表振动的主模,得到时域运算结果;

步骤S2.3、通过离散傅立叶变换将时域信号即通过多路数字信号恢复模块恢复的多路电路输出转换为频域信号;取频域信号的最大值来体现空间时间频率压电球振动的基波频率,得到频域运算结果;

步骤S2.4、通过球体空时频综合器分别将时域运算结果、频域运算结果以及对应的空

间位置对应起来,并进行静态以及动态数据分析:

静态数据分析:在空间时间频率压电球处于静止状态时,外球壳内表面的压电传感芯片感知内球体对压电传感芯片产生的球心角方向的力,其中,垂直于地面的地球重力线方向上的压电传感芯片获得最大的压力,通过判断地球重力线方向与空间时间频率压电球安装产生的固有方向,获得空间时间频率压电球相对于重力线的倾斜角度;

动态数据分析:将通过球体空时频综合器对时域信号和频域信号运算获得的时域相关的时域型结果与频域分析的频域型结果综合,获得对空间时间频率压电球振动频率的判断;其中,获得的时域信号T、频域信号F和空间位置XYZ为5维信号;

步骤S2.5、采用铁塔空时频综合器进行数据搜集;具体的,铁塔空时频综合器内设有时域数据库和频域数据库;其中,时域数据库和频域数据库内均包括静态时域信号和动态时域信号;将静态时域信号和静态频域信号进行综合分析,同时将动态时域信号和动态频域信号进行综合分析;

铁塔空时频综合器接收所在空间时间频率压电球的球体空时频综合器中的时域信号T、频域信号F和空间位置XYZ的5维信号,时域数据库保留时域信号的历史信息,并用新的时域信息对时域数据库进行更新,频域数据库保留频域信号的历史信息,用新的频域数据对频域数据库进行更新;时域数据库和频域数据库的数据定位采用空域编码矩阵控制;

步骤S2.6:在铁塔空时频综合器中进行静态分析;具体的,铁塔倾斜时各空间时间频率压电球的倾斜角度相同,当铁塔上M个空间时间频率压电球都满足预设条件 $\overline{\Delta F}_j = \text{const}$ 且不为0,则铁塔满足整体倾斜条件,其中, $\overline{\Delta F}_j$ 表示第j个空间时间频率压电球倾斜产生的方向的偏移, const 为常数;

步骤S2.7、在铁塔空时频综合器中进行动态分析;具体的,当铁塔上的各空间时间频率压电球的倾斜角度随时间变化,表示铁塔产生振动,找到铁塔上产生振动最强的空间时间频率压电球,同时,除振动最强的空间时间频率压电球的其他空间时间频率压电球所在的点,体现振动的不同类型;

步骤S2.8、在铁塔空时频综合器中根据静态分析与动态分析的结果,结合铁塔的结构分析关键应力点的状态W,当W大于临界值 W_0 时,铁塔处于失效状态;

步骤S2.9、在铁塔空时频综合器中,铁塔的倾斜角度表示为下倾角 α 以及平面旋转角 ϕ ;设输电线在铁塔上的高度为H,则铁塔倾斜引起的相邻铁塔距离变化量为 $\Delta l = H \cdot \sin \alpha \cos \phi$,由相邻铁塔距离变化量再综合考虑温度、输电线路固有长度条件,计算由塔体倾斜引起的弧垂变化;

所述多路器、多路数字信号恢复模块、离散傅里叶变换和时域相关运算器均采用时钟同步信号统一控制;

所述时钟同步信号的频率大于铁塔振动产生的最高频率的5倍以上;信号放大模块的输入范围和放大增益通过对信号波动范围以及数字信号的工作范围予以调整。

2. 根据权利要求1所述的基于空时频压电球的输电铁塔姿态检测方法,其特征在于:经过模拟数字转换模块转换来的12位数字信号是按照规定节拍串行在一起,多路数字信号恢复模块将串行成一路的12位数字信号恢复为多路电路输出,分别分解成为1号数字信号、2号数字信号,一直到第N号数字信号;

获得时域信号 T 、频域信号 F 和空间位置 XYZ 为5维信号,表示为:

$$s(i) = f_i(T, F, X, Y, Z), \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (1);$$

式中, $s(i)$ 表示第 i 个空间时间频率压电球的五维空间; f_i 表示对应空间时间频率压电球由 T, F, X, Y, Z 五个参数决定;

各点的时域信号 T_i 表示为:

$$T_i = T_i(x, y, z) \quad (2);$$

式中, x, y, z 表示该点的空间坐标;

各点的频域信号 F_i 表示为:

$$F_i = F_i(x, y, z) \quad (3)。$$

3. 根据权利要求2所述的基于空时频压电球的输电铁塔姿态检测方法,其特征在于:步骤S2.2的具体过程为:

对第 i 个压电传感芯片的时域信号 $T_i(n)$ 做自相关运算:

$$R_i(\tau) = \sum_{n=1}^l T_i(n)T(n + \tau) \quad (4);$$

式中, τ 表示时间间隔; $T(n + \tau)$ 表示移动一定时间间隔后的时域信号;在静态时, $R_i(0)$ 表现为冲激响应;

在空间时间频率压电球处于动态情况下产生振动时,压电传感芯片采集的时域信号表现为周期性, $l = T_0, T_0$ 表示时间周期的值,此时:

$$R_i(\tau) = \frac{1}{T_0} \sum_{n=1}^{T_0} T_i(n)T(n + \tau) \quad (5);$$

式中, $R_i(\tau)$ 表示相关运算的值;

在时域相关运算器中对两个压电传感芯片的时域信号相互做互相关运算:

$$R_{ij}(\tau) = \sum_{n=1}^l \sum_{m=1}^l T_i(n)T_j(m + \tau) \quad (6);$$

式中, n, m 分别是第 i 个压电传感芯片和第 j 个压电传感芯片的标号,通过对不同数值长度 l 的运算,获得不同压电传感芯片安装点之间的相关性; $T_j(m + \tau)$ 表示时间移动 τ 后的时域信号;在静态时,相关值 $R_{ij}(0)$ 表现为冲激响应;

在动态情况下,选择具有最大数值的相关值:

$$R_{ijmax} = MAX(R_{i,j}, l) \quad (7);$$

式中, R_{ijmax} 表示相关的最大值; $MAX(R_{i,j}, l)$ 表示在 $R_{i,j}, l$ 中取最大值;

振动的周期由 l 决定主模,振动方向为第 i 个压电传感芯片和第 j 个压电传感芯片对应的坐标 x, y, z 所表示的两个点组成的空间矢量;

所述步骤S2.3具体过程为:通过离散傅立叶变换将时域信号转换为频域信号 $F_i(m)$:

$$F_i(m) = \sum_{n=0}^{N-1} T_n \exp(-j2\pi nm/N), \quad m = 1, 2, \dots, N - 1 \quad (8);$$

式中, T_n 表示第 n 个时域信号;

取频域信号 $F_i(m)$ 的最大值 F_{imax} :

$$F_{imax} = MAX(F_i(m)) \quad (9);$$

式中, $MAX(F_i(m))$ 表示 $F_i(m)$ 中最大的值;

将时域获得的时域相关的结果 R_{ijmax} 与频域分析的结果 F_{imax} 作进一步合并运算:

$$F = aF_{imax} + \frac{b}{R_{ijmax}} \quad (10);$$

式中, F 是最终获得的空间时间频率压电球振动频率, a, b 是可调整的系数。

4. 根据权利要求3所述的基于空时频压电球的输电铁塔姿态检测方法,其特征在于:每个铁塔空时频综合器来接收对应空间时间频率压电球的时域信号 T 、频域信号 F 和空间位置 XYZ 的5维信号 $s(i)$;铁塔的不同位置上布设 M 个空间时间频率压电球,通过MESH网络通信接收到 $M-1$ 空间时间频率压电球的时域信号 T 、频域信号 F 和空间位置 XYZ 的5维信号,对 M 个空间时间频率压电球以及 $M-1$ 个空间时间频率压电球的信号进行统一编号:

$$s(i, j) = f_i(T, F, X, Y, Z), \quad i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, M \quad (11);$$

式中, $s(\cdot)$ 表示获得的时域信号 T 、频域信号 F 和空间位置 XYZ 的5维信号, i, j 表示压电传感芯片的编号;各空间时间频率压电球的时域信号为 T_{ij} ,各空间时间频率压电球的频域信号为 F_{ij} 。

5. 根据权利要求4所述的基于空时频压电球的输电铁塔姿态检测方法,其特征在于:步骤S2.6的具体过程为:在铁塔空时频综合器中进行静态分析,采用静态时域信号和静态频域信号进行综合分析的结果来判断铁塔的倾斜、局部形变、总体扭曲;

铁塔的倾斜由地基变化引起,由此体现铁塔上安装的各个空间时间频率压电球的倾斜角度相同,设第 j 个空间时间频率压电球初始重力线方向为:

$$\vec{F}_{0j} = A_{0j}\vec{x} + B_{0j}\vec{y} + C_{0j}\vec{z} \quad (12);$$

式中, \vec{F}_{0j} 表示初始重力线方向矢量; $A_{0j}\vec{x}$ 表示重力线方向矢量在 x 轴上的分量; $B_{0j}\vec{y}$ 表示重力线方向矢量在 y 轴上的分量; $C_{0j}\vec{z}$ 表示重力线方向矢量在 z 轴上的分量;

当第 j 个空间时间频率压电球发生倾斜后变化为:

$$\vec{F}_{1j} = A_{1j}\vec{x} + B_{1j}\vec{y} + C_{1j}\vec{z} \quad (13);$$

式中, \vec{F}_{1j} 表示倾斜后的重力线方向矢量; $A_{1j}\vec{x}$ 表示倾斜后的重力线方向矢量在 x 轴上的分量; $B_{1j}\vec{y}$ 表示倾斜后的重力线方向矢量在 y 轴上的分量; $C_{1j}\vec{z}$ 表示倾斜后的重力线方向矢量在 z 轴上的分量;

第 j 个空间时间频率压电球倾斜产生的方向的偏移 $\vec{\Delta F}_j$ 为:

$$\vec{\Delta F}_j = \vec{F}_{1j} - \vec{F}_{0j} \quad (14);$$

当铁塔上安装的 M 个空间时间频率压电球都满足预设条件 $\vec{\Delta F}_j = const$ 是常数且不为0,则铁塔满足整体倾斜条件。

6. 根据权利要求5所述的基于空时频压电球的输电铁塔姿态检测方法,其特征在于:步骤S2.7的具体过程为:在铁塔空时频综合器中进行动态分析;动态情况下, $\vec{\Delta F}_j$ 随时间而变,在规定时间内做时域相关运算:

$$R_j(\tau) = \sum \vec{\Delta F}_j(t) \cdot \vec{\Delta F}_j(t + \tau) \quad (15);$$

式中, $R_j(\tau)$ 表示时域相关运算的值; $\overline{\Delta F_j}(t + \tau)$ 表示 $\overline{\Delta F_j}$ 随时间间隔 τ 而变的值;

在 $R_j(\tau)$ 中选取最大值的一个相关值:

$$R_{j \max}(\tau) = \text{MAX}(R_j(\tau)) \quad (16);$$

式中, $R_{j \max}(\tau)$ 表示时域相关运算的最大值; $\text{MAX}(R_j(\tau))$ 表示在时域相关运算结果中取最大值; 则 τ 体现铁塔的振动周期;

对 $R_j(\tau)$ 作离散傅里叶变换, 得到空间时间频率压电球的动态功率谱:

$$P_j(\omega) = \mathcal{F}(R_j(\tau)) \quad (17);$$

式中, $P_j(\omega)$ 表示空间时间频率压电球的动态功率谱; \mathcal{F} 表示离散傅里叶变换;

在 $P_j(\omega)$ 中取幅度最大的频点 ω_0 :

$$P_j(\omega_0) = \text{MAX}(P_j(\omega)) \quad (18);$$

式中, $\text{MAX}(P_j(\omega))$ 表示空间时间频率压电球的动态功率谱中取最大值;

空间时间频率压电球的动态功率谱共有 M 个, 分别为 $P_1(\omega)$, $P_2(\omega)$, $\dots, P_M(\omega)$, 其中, $P_1(\omega)$ 为空间时间频率压电球的第 1 个动态功率谱, $P_2(\omega)$ 为空间时间频率压电球的第 2 个动态功率谱, $P_M(\omega)$ 为空间时间频率压电球的第 M 个动态功率谱, 取动态功率谱幅度最大的第 p 个空间时间频率压电球:

$$P_p(\omega_0) = \text{MAX}(P_j(\omega_0)) \quad (19);$$

式中, $P_p(\omega_0)$ 表示第 p 个空间时间频率压电球的动态功率谱最大, 即第 p 个空间时间频率压电球的安装位置即是铁塔产生振动最强的点; $\text{MAX}(P_j(\omega_0))$ 表示取动态功率谱中最大值的空间时间频率压电球。

7. 根据权利要求 6 所述的基于空时频压电球的输电铁塔姿态检测方法, 其特征在于: 步骤 S2.8 的具体过程为: 将静态综合分析的倾斜、局部形变、总体扭曲以及动态综合分析得到的外力振动和固有频率进行综合, 对铁塔的现存的应力状态进行分析; 根据静态分析与动态分析的结果结合铁塔的结构分析关键应力点的状态 W ; 当 W 大于临界值 W_0 时, 铁塔处于失效状态; 将静态分析的结果与通过 MESH 网络通信获得的相邻铁塔静态数据分析的结果做进一步分析, 估计本铁塔和相邻铁塔之间线路的弧垂;

当铁塔上安装的 M 个空间时间频率压电球都满足 $\overline{\Delta F_j} = \text{const}$ 是常数, 并且不为零, 则铁塔满足整体倾斜, 且倾斜角度由 $\overline{\Delta F_j}$ 的方向决定; 当铁塔上安装的 M 个空间时间频率压电球的 $\overline{\Delta F_j}$ 各不相同, 则铁塔发生形变, 铁塔整体是否倾斜取决于各个空间时间频率压电球倾斜角度的均值:

$$\overline{\Delta F} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \overline{F_j} \quad (20);$$

设铁塔指向相邻铁塔的方向为 x 轴, 垂直地面指向空中为 z 轴, 则由此构成的球坐标中, 铁塔的倾斜角度表示为下倾角 α 以及平面旋转角 ϕ ; 设输电线在铁塔端的高度为 H , 则铁塔倾斜引起的相邻铁塔距离变化量为:

$$\Delta l = H \cdot \sin \alpha \cos \phi \quad (21);$$

由相邻铁塔距离的变化量再综合考虑温度、输电线路的条件计算由塔体倾斜引起的弧垂变化。

8. 基于空时频压电球的输电铁塔姿态检测系统,应用于权利要求1-7任意一项所述的空时频压电球的输电铁塔姿态检测方法,其特征在于,包括:布设模块,用于在铁塔不同的位置上布设M个空间时间频率压电球;运算模块,用于运算获得相对于重力线的空间时间频率压电球姿态以及动态加速度力的信息,根据运算得到的信息计算由塔体倾斜引起的弧垂变化。

基于空时频压电球的输电铁塔姿态检测方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及输电铁塔姿态检测技术领域,具体为基于空时频压电球的输电铁塔姿态检测方法及系统。

背景技术

[0002] 输电铁塔受到长期地质的变化以及风雨雪的影响,会发生倾斜、变形、震动。现有的方法采用北斗技术监测塔身倾斜。通过安装在铁塔上的接收机接收北斗卫星信号,获取铁塔的精确位置信息,并计算出铁塔的倾斜度。输电导线弧垂是指在输电线路中,由于导线自重产生的轻微弯曲,看起来像是一条悬链线。弧垂过大、对地高度缩小、不满足设计要求的安全距离,则对线下物体的安全有很大影响。现有技术依赖于北斗定位,对平面位置相对有效,对垂直高度不敏感,难以测得弧垂。

发明内容

[0003] 针对现有技术的不足,本发明提供了基于空时频压电球的输电铁塔姿态检测方法及系统,其目的在于解决背景技术中提到的问题。

[0004] 为实现上述目的,本发明提供如下技术方案:基于空时频压电球的输电铁塔姿态检测方法,包括如下步骤:

[0005] 步骤S1:在铁塔的不同位置上布设M个空间时间频率压电球;

[0006] 所述空间时间频率压电球由外球壳以及内球体组成,外球壳和内球体之间设置弹性夹层进行隔离,外球壳内表面安装N个压电传感芯片;外球壳上设置有处理模块;

[0007] 步骤S2:运算获得相对于重力线的空间时间频率压电球姿态以及动态加速度力的信息,根据运算得到的信息计算由塔体倾斜引起的弧垂变化;

[0008] 多个空间时间频率压电球之间的信息交互采用MESH网络实现;

[0009] 当空间时间频率压电球静止状态下时,外球壳内表面压电传感芯片感知内球体对压电传感芯片产生的球心角方向的力,其中,垂直于地面的地球重力线方向上的压电传感芯片获得最大的压力,通过信息传导空间时间频率压电球上全部压电信息在处理模块上生成球面压力矩阵;

[0010] 当空间时间频率压电球动态状态下,外球壳内表面压电传感芯片感知内球体对压电传感芯片产生的球心角方向的加速度力,外球壳移动,反方向上弹性夹层压缩后,间隙变小,由静态获得附加加速度力,通过信息传导空间时间频率压电球上全部压电信息在处理模块上生成球面附加加速度力矩阵。

[0011] 进一步的,处理模块包括供电电源、多路器、信号放大模块、模拟数字转换模块、时域相关运算器、球体空时频综合器和铁塔空时频综合器;供电电源用于为多路器、信号放大模块、模拟数字转换模块、时域相关运算器、球体空时频综合器和铁塔空时频综合器提供电源;多路器、信号放大模块、模拟数字转换模块、多路数字信号恢复模块、时域相关运算器、球体空时频综合器和铁塔空时频综合器依次连接。

[0012] 进一步的,步骤S2的具体过程为:

[0013] 步骤S2.1、N个压电传感芯片由供电电源供电,N个压电传感芯片采集的并行压电信号依次输入多路器中,转换为串行压电信号输入至信号放大模块予以放大;将放大的信号通过模拟数字转换模块转换为12位数字信号,12位数字信号通过多路数字信号恢复模块恢复为多路电路输出;

[0014] 步骤S2.2、通过时域相关运算器对时域信号即通过多路数字信号恢复模块恢复的多路电路输出进行相关运算;具体的,对第*i*个压电传感芯片的时域信号 $T_i(n)$ 做自相关运算,当空间时间频率压电球处于静态时,第*i*个压电传感芯片的时域信号自相关运算结果 $R_i(0)$ 表现为冲激响应;当空间时间频率压电球处于动态情况下产生振动时,时域信号表现为周期性;

[0015] 在时域相关运算器中对两个压电传感芯片的时域信号相互做互相关运算,通过对不同数值长度*l*的运算,获得第*i*个压电传感芯片与第*j*个压电传感芯片之间的互相关值 $R_{ij}(\tau)$;当空间时间频率压电球处于静态时, $R_{ij}(\tau)$ 表现为冲激响应;当空间时间频率压电球处于动态情况时,选择具有最大数值的相关值代表振动的主模,得到时域运算结果;

[0016] 步骤S2.3、通过离散傅立叶变换将时域信号即通过多路数字信号恢复模块恢复的多路电路输出转换为频域信号;取频域信号的最大值来体现空间时间频率压电球振动的基波频率,得到频域运算结果;

[0017] 步骤S2.4、通过球体空时频综合器分别将时域运算结果、频域运算结果以及对应的空间位置对应起来,并进行静态以及动态数据分析;

[0018] 静态数据分析:在空间时间频率压电球处于静止状态时,外球壳内表面的压电传感芯片感知内球体对压电传感芯片产生的球心角方向的力,其中,垂直于地面的地球重力线方向上的压电传感芯片获得最大的压力,通过判断地球重力线方向与空间时间频率压电球安装产生的固有方向,获得空间时间频率压电球相对于重力线的倾斜角度;

[0019] 动态数据分析:将通过球体空时频综合器对时域信号和频域信号运算获得的时域相关的时域型结果与频域分析的频域型结果综合,获得对空间时间频率压电球振动频率的判断;其中,获得的时域信号T、频域信号F和空间位置XYZ为5维信号;

[0020] 步骤S2.5、采用铁塔空时频综合器进行数据搜集;具体的,铁塔空时频综合器内设有时域数据库和频域数据库;其中,时域数据库和频域数据库内均包括静态时域信号和动态时域信号;将静态时域信号和静态频域信号进行综合分析,同时将动态时域信号和动态频域信号进行综合分析;

[0021] 铁塔空时频综合器接收所在空间时间频率压电球的球体空时频综合器中的时域信号T、频域信号F和空间位置XYZ的5维信号,时域数据库保留时域信号的历史信息,并用新的时域信息对时域数据库进行更新,频域数据库保留频域信号的历史信息,用新的频域数据对频域数据库进行更新;时域数据库和频域数据库的数据定位采用空域编码矩阵控制;

[0022] 步骤S2.6:在铁塔空时频综合器中进行静态分析;具体的,铁塔倾斜时各空间时间频率压电球的倾斜角度相同,当铁塔上M个空间时间频率压电球都满足预设条件 $\overline{\Delta F_j} = \text{const}$ 且不为0,则铁塔满足整体倾斜条件;

[0023] 步骤S2.7、在铁塔空时频综合器中进行动态分析；具体的，当铁塔上的各空间时间频率压电球的倾斜角度随时间变化，表示铁塔产生振动，找到铁塔上产生振动最强的空间时间频率压电球，同时，除振动最强的空间时间频率压电球的其他空间时间频率压电球所在的点，体现振动的不同类型；

[0024] 步骤S2.8、在铁塔空时频综合器中根据静态分析与动态分析的结果，结合铁塔的结构分析关键应力点的状态 W ，当 W 大于临界值 W_0 时，铁塔处于失效状态；

[0025] 步骤S2.9、在铁塔空时频综合器中，铁塔的倾斜角度表示为下倾角 α 以及平面旋转角 ϕ ；设输电线在铁塔上的高度为 H ，则铁塔倾斜引起的相邻铁塔距离变化量为 $\Delta l = H \cdot \sin \alpha \cos \phi$ ，由相邻铁塔距离变化量再综合考虑温度、输电线路固有长度条件，计算由塔体倾斜引起的弧垂变化；

[0026] 所述多路器、多路数字信号恢复模块、离散傅里叶变换和时域相关运算器均采用时钟同步信号统一控制；

[0027] 所述时钟同步信号的频率大于铁塔振动产生的最高频率的5倍以上；信号放大模块的输入范围和放大增益通过对信号波动范围以及数字信号的工作范围予以调整。

[0028] 进一步的，经过模拟数字转换模块转换来的12位数字信号是按照规定节拍串行在一起，多路数字信号恢复模块将串行成一路的12位数字信号恢复为多路电路输出，分别分解成为1号数字信号、2号数字信号，一直到第 N 号数字信号；

[0029] 获得时域信号 T 、频域信号 F 和空间位置 XYZ 为5维信号，表示为：

$$[0030] \quad s(i) = f_i(T, F, X, Y, Z), \quad i = 1, 2, \dots, N(1);$$

[0031] 式中， $s(i)$ 表示第 i 个空间时间频率压电球的五维空间； f_i 表示对应空间时间频率压电球由 T, F, X, Y, Z 五个参数决定；

[0032] 各点的时域信号 T_i 表示为：

$$[0033] \quad T_i = T_i(x, y, z) (2);$$

[0034] 式中， x, y, z 表示该点的空间坐标；

[0035] 各点的频域信号 F_i 表示为：

$$[0036] \quad F_i = F_i(x, y, z) (3)。$$

[0037] 进一步的，步骤S2.2的具体过程为：

[0038] 对第 i 个压电传感芯片的时域信号 $T_i(n)$ 做自相关运算：

$$[0039] \quad R_i(\tau) = \sum_{n=1}^l T_i(n)T(n + \tau) (4);$$

[0040] 式中， τ 表示时间间隔； $T(n + \tau)$ 表示移动一定时间间隔后的时域信号；在静态时， $R_i(0)$ 表现为冲激响应；

[0041] 在空间时间频率压电球处于动态情况下产生振动时，压电传感芯片采集的时域信号表现为周期性， $l = T_0$ ， T_0 表示时间周期的值，此时：

$$[0042] \quad R_i(\tau) = \frac{1}{T_0} \sum_{n=1}^{T_0} T_i(n)T(n + \tau) (5);$$

[0043] 式中， $R_i(\tau)$ 表示相关运算的值；

[0044] 在时域相关运算器中对两个压电传感芯片的时域信号相互做互相关运算：

[0045] $R_{ij}(\tau) = \sum_{n=1}^l T_i(n)T_j(m + \tau) (6)$;

[0046] 式中, n, m 分别是第 i 个压电传感芯片和第 j 个压电传感芯片的标号, 通过对不同数值长度 l 的运算, 获得不同压电传感芯片安装点之间的相关性; $T_j(m + \tau)$ 表示时间移动 τ 后的时域信号; 在静态时, 相关值 $R_{ij}(0)$ 表现为冲激响应;

[0047] 在动态情况下, 选择具有最大数值的相关值:

[0048] $R_{ijmax} = MAX(R_{i,j}, l) (7)$;

[0049] 式中, R_{ijmax} 表示相关的最大值; $MAX(R_{i,j}, l)$ 表示在 $R_{i,j}, l$ 中取最大值;

[0050] 振动的周期由 l 决定主模, 振动方向为第 i 个压电传感芯片和第 j 个压电传感芯片对应的坐标 x, y, z 所表示的两个点组成的空间矢量;

[0051] 所述步骤 S2.3 具体过程为: 通过离散傅立叶变换将时域信号转换为频域信号 $F_i(m)$:

[0052] $F_i(m) = \sum_{n=0}^{N-1} T_n \exp(-j2\pi nm/N), m = 1, 2, \dots, N-1 (8)$;

[0053] 式中, T_n 表示第 n 个时域信号;

[0054] 取频域信号 $F_i(m)$ 的最大值 $F_{i max}$:

[0055] $F_{i max} = MAX(F_i(m)) (9)$;

[0056] 式中, $MAX(F_i(m))$ 表示 $F_i(m)$ 中最大的值;

[0057] 将时域获得的时域相关的结果 R_{ijmax} 与频域分析的结果 $F_{i max}$ 作进一步合并运算:

[0058] $F = aF_{i max} + \frac{b}{R_{ijmax}} (10)$;

[0059] 式中, F 是最终获得的空间时间频率压电球振动频率, a, b 是可调整的系数。

[0060] 进一步的, 每个铁塔空时频综合器来接收对应空间时间频率压电球的时域信号 T 、频域信号 F 和空间位置 XYZ 的 5 维信号 $s(i)$; 铁塔的不同位置上布设 M 个空间时间频率压电球, 通过 MESH 网络通信接收到 $M-1$ 空间时间频率压电球的时域信号 T 、频域信号 F 和空间位置 XYZ 的 5 维信号, 对 M 个空间时间频率压电球以及 $M-1$ 个空间时间频率压电球的信号进行统一编号:

[0061] $s(i, j) = f_i(T, F, X, Y, Z), i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, M (11)$;

[0062] 式中, $s(\cdot)$ 表示获得的时域信号 T 、频域信号 F 和空间位置 XYZ 的 5 维信号, i, j 表示压电传感芯片的编号; 各空间时间频率压电球的时域信号为 T_{ij} , 各空间时间频率压电球的频域信号为 F_{ij} 。

[0063] 进一步的, 步骤 S2.6 的具体过程为: 在铁塔空时频综合器中进行静态分析, 采用静态时域信号和静态频域信号进行综合分析的结果来判断铁塔的倾斜、局部形变、总体扭曲;

[0064] 铁塔的倾斜由地基变化引起, 由此体现铁塔上安装的各个空间时间频率压电球的倾斜角度相同, 设第 j 个空间时间频率压电球初始重力线方向为:

[0065] $\vec{F}_{0j} = A_{0j}\vec{x} + B_{0j}\vec{y} + C_{0j}\vec{z} (12)$;

[0066] 式中, \vec{F}_{0j} 表示初始重力线方向矢量; $A_{0j}\vec{x}$ 表示重力线方向矢量在 x 轴上的分量;

$B_{0j}\vec{y}$ 表示重力线方向矢量在y轴上的分量; $C_{0j}\vec{z}$ 表示重力线方向矢量在z轴上的分量;

[0067] 当第j个空间时间频率压电球发生倾斜后变化为:

$$[0068] \quad \vec{F}_{1j} = A_{1j}\vec{x} + B_{1j}\vec{y} + C_{1j}\vec{z} \quad (13);$$

[0069] 式中, \vec{F}_{1j} 表示倾斜后的重力线方向矢量; $A_{1j}\vec{x}$ 表示倾斜后的重力线方向矢量在x轴上的分量; $B_{1j}\vec{y}$ 表示倾斜后的重力线方向矢量在y轴上的分量; $C_{1j}\vec{z}$ 表示倾斜后的重力线方向矢量在z轴上的分量;

[0070] 第j个空间时间频率压电球倾斜产生的方向的偏移 $\vec{\Delta F}_j$ 为:

$$[0071] \quad \vec{\Delta F}_j = \vec{F}_{1j} - \vec{F}_{0j} \quad (14);$$

[0072] 当铁塔上安装的M个空间时间频率压电球都满足预设条件 $\vec{\Delta F}_j = \text{const}$ 是常数且不为0,则铁塔满足整体倾斜条件。

[0073] 进一步的,步骤S2.7的具体过程为:在铁塔空时频综合器中进行动态分析;动态情况下, $\vec{\Delta F}_j$ 随时间而变,在规定时间内做时域相关运算:

$$[0074] \quad R_j(\tau) = \sum \vec{\Delta F}_j(t) \cdot \vec{\Delta F}_j(t + \tau) \quad (15);$$

[0075] 式中, $R_j(\tau)$ 表示时域相关运算的值; $\vec{\Delta F}_j(t + \tau)$ 表示 $\vec{\Delta F}_j$ 随时间间隔 τ 而变的值;

[0076] 在 $R_j(\tau)$ 中选取最大值的一个相关值:

$$[0077] \quad R_{j \max}(\tau) = \text{MAX}(R_j(\tau)) \quad (16);$$

[0078] 式中, $R_{j \max}(\tau)$ 表示时域相关运算的最大值; $\text{MAX}(R_j(\tau))$ 表示在时域相关运算结果中取最大值;则 τ 体现铁塔的振动周期;

[0079] 对 $R_j(\tau)$ 作离散傅里叶变换,得到空间时间频率压电球的动态功率谱:

$$[0080] \quad P_j(\omega) = \mathcal{F}(R_j(\tau)) \quad (17);$$

[0081] 式中, $P_j(\omega)$ 表示空间时间频率压电球的动态功率谱; \mathcal{F} 表示离散傅里叶变换;

[0082] 在 $P_j(\omega)$ 中取幅度最大的频点 ω_0 :

$$[0083] \quad P_j(\omega_0) = \text{MAX}(P_j(\omega)) \quad (18);$$

[0084] 式中, $\text{MAX}(P_j(\omega))$ 表示空间时间频率压电球的动态功率谱中取最大值;

[0085] 空间时间频率压电球的动态功率谱共有M个,分别为 $P_1(\omega)$, $P_2(\omega)$, $P_M(\omega)$, 其中, $P_1(\omega)$ 为空间时间频率压电球的第1个动态功率谱, $P_2(\omega)$ 为空间时间频率压电球的第2个动态功率谱, $P_M(\omega)$ 为空间时间频率压电球的第M个动态功率谱,取动态功率谱幅度最大的第p个空间时间频率压电球:

$$[0086] \quad P_p(\omega_0) = \text{MAX}(P_j(\omega_0)) \quad (19);$$

[0087] 式中, $P_p(\omega_0)$ 表示第p个空间时间频率压电球的动态功率谱最大,即第p个空间时间频率压电球的安装位置即是铁塔产生振动最强的点; $\text{MAX}(P_j(\omega_0))$ 表示取动态功率谱中最大值的空间时间频率压电球。

[0088] 进一步的,步骤S2.8的具体过程为:将静态综合分析的倾斜、局部形变、总体扭曲以及动态综合分析得到的外力振动和固有频率进行综合,对铁塔的现存的应力状态进行分析;根据静态分析与动态分析的结果结合铁塔的结构分析关键应力点的状态 \mathbf{W} ;当 \mathbf{W} 大于临界值 \mathbf{W}_0 时,铁塔处于失效状态;将静态分析的结果与通过MESH网络通信获得的相邻铁塔静态数据分析的结果做进一步分析,估计本铁塔和相邻铁塔之间线路的弧垂;

[0089] 当铁塔上安装的M个空间时间频率压电球都满足 $\overline{\Delta F_j} = \text{const}$ 是常数,并且不为零,则铁塔满足整体倾斜,且倾斜角度由 $\overline{\Delta F_j}$ 的方向决定;当铁塔上安装的M个空间时间频率压电球的 $\overline{\Delta F_j}$ 各不相同,则铁塔发生形变,铁塔整体是否倾斜取决于各个空间时间频率压电球倾斜角度的均值:

$$[0090] \quad \overline{\Delta F} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \overline{F_j} \quad (20);$$

[0091] 设铁塔指向相邻铁塔的方向为x轴,垂直地面指向空中为z轴,则由此构成的球坐标中,铁塔的倾斜角度表示为下倾角 α 以及平面旋转角 ϕ ;设输电线在铁塔端的高度为H,则铁塔倾斜引起的相邻铁塔距离变化量为:

$$[0092] \quad \Delta l = H \cdot \sin \alpha \cos \phi \quad (21);$$

[0093] 由相邻铁塔距离的变化量再综合考虑温度、输电线路的条件计算由塔体倾斜引起的弧垂变化。

[0094] 基于空时频压电球的输电铁塔姿态检测系统,应用于空时频压电球的输电铁塔姿态检测方法,包括:布设模块,用于在铁塔不同的位置上布设M个空间时间频率压电球;运算模块,用于运算获得相对于重力线的空间时间频率压电球姿态以及动态加速度力的信息,根据运算得到的信息计算由塔体倾斜引起的弧垂变化。

[0095] 与现有的技术相比,本发明具备以下有益效果:本发明无须安装与带电部位相关的任何装置,就可以利用铁塔各部分三维姿态以及加速度时频信号推算铁塔的整体倾斜和震动特性,通过本发明获得的相邻两个铁塔各部分三维姿态以及加速度时频信号推算铁塔的整体倾斜和震动特性,可以进一步对输电线路弧垂进行推算。

附图说明

[0096] 图1为本发明的处理模块处理流程图。

[0097] 图2为本发明的空间时间频率压电球结构示意图。

[0098] 图3为本发明的空间时间频率压电球工作原理图。

[0099] 图4为本发明的MESH网络在铁塔上的布置示意图。

[0100] 图5为本发明空间时间频率压电球之间的MESH网络通信链路图。

具体实施方式

[0101] 如图1所示,本发明提供技术方案:基于空时频压电球的输电铁塔姿态检测方法,包括如下步骤:

[0102] 步骤S1:在铁塔的不同位置上布设M个空间时间频率压电球;

[0103] 所述空间时间频率压电球是一个具有感知自身静态和动态状态、通信与数据分析

等功能的智能三维姿态模块;空间时间频率压电球由外球壳1以及一定质量的内球体2组成,外球壳1和内球体2之间设置弹性夹层3进行隔离,外球壳1内表面安装N个压电传感芯片4;外球壳1上设置有处理模块5,如图2所示;处理模块5包括供电电源、多路器、信号放大模块、模拟数字转换模块、时域相关运算器、球体空时频综合器和铁塔空时频综合器;供电电源用于为多路器、信号放大模块、模拟数字转换模块、时域相关运算器、球体空时频综合器和铁塔空时频综合器提供电源;多路器、信号放大模块、模拟数字转换模块、多路数字信号恢复模块、时域相关运算器、球体空时频综合器和铁塔空时频综合器依次连接;

[0104] 步骤S2:运算获得相对于重力线的空间时间频率压电球姿态以及动态加速度力的信息;根据运算得到的信息计算由塔体倾斜引起的弧垂变化;

[0105] 空间时间频率压电球安装于铁塔上时,相对于地球引力场可得到铁塔固定的三维倾斜信息;

[0106] 其中,多个空间时间频率压电球之间的信息交互通过MESH网络实现,MESH网络采用令牌形式在同一空间传递信号实现铁塔各点的信息综合;所述MESH网络具有降级模式,个别的MESH网络终端故障不影响总体检测,由于铁塔有各自不同的本振频率,因此铁塔的各个模块之间的信息互通可以判断铁塔震荡的类型,运行中将实时的数据与原始标定的数据进行对比,可以获得铁塔使用过程中实时倾斜的静态角度和动态的空时频信息。不同的信号体现了铁塔的状态,相邻铁塔数据的对比分析还可以推导铁塔间线路弧垂状况。

[0107] 其中,当空间时间频率压电球静止状态下时,外球壳内表面压电传感芯片感知内球体对压电传感芯片产生的球心角方向的力,其中,垂直于地面的地球重力线方向上的压电传感芯片获得最大的压力,通过信息传导空间时间频率压电球上全部压电信息在处理模块上生成球面压力矩阵。

[0108] 其中,当空间时间频率压电球动态状态下,外球壳内表面压电传感芯片感知内球体对压电传感芯片产生的球心角方向的加速度力,外球壳移动,反方向上弹性夹层压缩后,间隙变小,由静态获得附加加速度力,通过信息传导空间时间频率压电球上全部压电信息在处理模块上生成球面附加加速度力矩阵。

[0109] 步骤S2的具体过程为:

[0110] 步骤S2.1、N个压电传感芯片由供电电源供电,N个压电传感芯片采集的并行压电信号依次输入多路器中,转换为串行压电信号输入至信号放大模块予以放大;将放大的信号通过模拟数字转换模块转换为12位数字信号,12位数字信号通过多路数字信号恢复模块恢复为多路电路输出。

[0111] 步骤S2.2、通过时域相关运算器对时域信号即通过模拟数字转换模块转换后的12位数字信号(因压电传感芯片的传感信号是时域的,经过模数转换还是时域的)进行相关运算;具体的,对第*i*个压电传感芯片的时域信号 $T_i(n)$ 做自相关运算,当空间时间频率压电球处于静态时,第*i*个压电传感芯片的时域信号自相关运算结果 $R_i(0)$ 表现为冲激响应;当空间时间频率压电球处于动态情况下产生振动时,时域信号将有周期性,体现了压电传感芯片的振动特性,得到时域运算结果。

[0112] 步骤S2.21、在时域相关运算器中对两个压电传感芯片的时域信号相互做互相关运算,通过对不同数值长度*l*的运算,可以获得第*i*个压电传感芯片与第*j*个压电传感芯片之间的互相关值 $R_{ij}(\tau)$;在静态时, $R_{ij}(\tau)$ 表现为冲激响应;动态情况下,选择具有最大数值

的相关值代表振动的主模。

[0113] 步骤S2.3、通过离散傅立叶变换将压电传感芯片的时域信号转换为频域信号；取频域信号的最大值用于体现空间时间频率压电球振动的基波频率，得到频域运算结果；同时除基波频率外的其他谐波体现了空间时间频率压电球振动的不同类型，其分布与空间时间频率压电球的位置以及风的强度方向等因素相关；

[0114] 步骤S2.4、通过球体空时频综合器分别将时域运算结果以及频域运算结果和空间时间频率压电球上对应的空间位置一一对应起来，并进行静态以及动态数据分析：

[0115] 静态数据分析：在空间时间频率压电球处于静止状态时，外球壳内表面的压电传感芯片感知内球体对其产生的球心角方向的力，其中，垂直于地面的地球重力线方向上的压电传感芯片获得最大的压力，通过判断地球重力线方向与空间时间频率压电球安装产生的固有方向，获得空间时间频率压电球相对于重力线的倾斜角度。

[0116] 动态数据分析：将通过球体空时频综合器对时域信号和频域信号运算获得的时域相关的时域型结果与频域分析的频域型结果综合，获得对空间时间频率压电球振动频率准确的判断。

[0117] 其中，获得的时域信号T、频域信号F和空间位置XYZ为5维信号。

[0118] 步骤S2.5、采用铁塔空时频综合器进行数据搜集；具体的，铁塔空时频综合器内设有时域数据库和频域数据库；其中，时域数据库和频域数据库内均包括静态时域信号和动态时域信号；将静态时域信号和静态频域信号进行综合分析，同时将动态时域信号和动态频域信号进行综合分析。铁塔空时频综合器接收所在空间时间频率压电球的球体空时频综合器中的时域信号T、频域信号F和空间位置XYZ的5维信号，时域数据库保留时域信号的历史信息，并用新的时域信息对时域数据库进行更新，同理，频域数据库保留频域信号的历史信息，用新的频域数据对频域数据库进行更新；时域数据库和频域数据库的数据定位采用空域编码矩阵控制。

[0119] 步骤S2.6：在铁塔空时频综合器中进行静态分析；具体的，铁塔倾斜时各空间时间频率压电球的倾斜角度是相同的，当铁塔上M个空间时间频率压电球都满足预设条件 $\overline{\Delta F_j} = \text{const}$ 且不为0，则认为铁塔满足整体倾斜条件。

[0120] 步骤S2.7、在铁塔空时频综合器中进行动态分析；具体的，当铁塔上的各空间时间频率压电球的倾斜角度随时间变化，说明铁塔产生振动，可以找到铁塔上产生振动最强的空间时间频率压电球，同时，除振动最强的空间时间频率压电球的其他空间时间频率压电球所在的点，可体现了振动的不同类型，其分布与该铁塔的结构以及风的强度方向等因素相关。

[0121] 步骤S2.8、在铁塔空时频综合器中根据静态分析与动态分析的结果，结合铁塔的结构分析关键应力点的状态W，当W大于临界值W₀时铁塔处于失效状态，由此可以预测铁塔的寿命以及是否需要进行大修。

[0122] 步骤S2.9、在铁塔空时频综合器中，铁塔的倾斜角度可以表示为下倾角 α 以及平面旋转角 ϕ ；设输电线在铁塔上的高度为H，则铁塔倾斜引起的相邻铁塔距离变化量为 $\Delta l = H \cdot \sin \alpha \cos \phi$ ，由相邻铁塔距离变化量再综合考虑温度、输电线路固有长度等条件可以计算由塔体倾斜引起的弧垂变化；

[0123] 其中,多路器、多路数字信号恢复模块、离散傅里叶变换和时域相关运算器均采用时钟同步信号统一控制;

[0124] 其中,时钟同步信号的频率大于铁塔振动产生的最高频率的5倍以上;信号放大模块的输入范围和放大增益通过对信号波动范围以及数字信号的工作范围予以调整。

[0125] 如图3所示,压电传感芯片布置原则是外球壳内表面相同的圆心角范围对应一个压电传感芯片;压电传感芯片由压电材料组成。四个相同的压电传感芯片可组成桥式传感电路,压电传感芯片的一个重要的指标是动态范围,需要与内球体的质量以及震动匹配,根据铁塔震动的常规数据统计,可以推算加速度的工作范围,由此决定重力以及震动加速度力共同作用的合力范围;其中,弹性夹层用于将内球体的力予以缓冲后施加在传感元件上。

[0126] 在静止状态下,空间时间频率压电球安装时相对于地球重力场有固定的三维倾斜信息。外球壳内表面压电传感芯片感知内球体对其产生的球心角方向的力,其中垂直于地面的地球重力线方向上的压电传感芯片获得最大的压力,围绕该压电传感芯片四周的压电传感芯片呈不同梯度的压力减少,由此弹性夹层的弹性压缩后的间隙 d 随着着力点与空间时间频率压电球球心形成的角度 θ 不同而变化:

[0127] $\theta=0^\circ$ 时 d 最大;

[0128] $\theta=180^\circ$ 时 d 最小;

[0129] d 与压力成反比。

[0130] 通过信息传导全部压电信息在处理模块上生成球面压力矩阵。

[0131] 当空间时间频率压电球处于动态状态下,外球壳内表面压电传感芯片感知内球体对其产生的球心角方向的加速度力,外球壳移动反方向上夹层的弹性压缩后的间隙变小,由静态时的间隙 d_0 变化为: $d=d_0-\Delta d$,其中 d 是变化后的间隙, Δd 是变化量;从而获得附加加速度力,而围绕它四周的压电传感芯片附加加速度力呈不同梯度的减少;通过信息传导空间时间频率压电球上全部压电信息在处理模块上生成球面附加加速度力矩阵。

[0132] 处理模块中的数据处理;

[0133] 其中,时钟同步信号的频率应该大于铁塔振动可能产生的最高频率的5倍以上,以便满足奈奎斯特采样定理;

[0134] 其中,信号放大模块的输入范围和放大增益都应通过对信号波动范围以及数字信号的工作范围予以调整。

[0135] 其中,经过模拟数字转换模块转换来的12位数字信号是按照规定节拍串行在一起,多路数字信号恢复模块将串行成一路的12位数字信号恢复为多路电路输出,分别分解成为1号数字信号、2号数字信号,一直到第 N 号数字信号。

[0136] 空间时间频率压电球中空时频综合器中静态数据分析;

[0137] 其中,获得时域信号 T 、频域信号 F 和空间位置 XYZ 为5维信号,可表示为:

[0138] $s(i) = f_i(T, F, X, Y, Z), i = 1, 2, \dots, N(1)$;

[0139] 式中, $s(i)$ 表示第 i 个空间时间频率压电球的五维空间; f_i 表示对应空间时间频率压电球由 T, F, X, Y, Z 五个参数决定;

[0140] 各点的时域信号 T_i 表示为:

[0141] $T_i = T_i(x, y, z)(2)$;

[0142] 式中, x, y, z 表示该点的空间坐标。

[0143] 各点的频域信号 F_i 表示为:

$$[0144] \quad F_i = F_i(x, y, z) \quad (3);$$

[0145] 步骤S2.2的具体过程为:对第*i*个压电传感芯片的时域信号 $T_i(n)$ 做自相关运算:

$$[0146] \quad R_i(\tau) = \sum_{n=1}^l T_i(n)T(n + \tau) \quad (4);$$

[0147] 式中, τ 表示时间间隔; $T(n + \tau)$ 表示移动一定时间间隔后的时域信号;在静态时, $R_i(0)$ 表现为冲激响应;

[0148] 在空间时间频率压电球处于动态情况下产生振动时,压电传感芯片采集的时域信号将有周期性, $l = T_0, T_0$ 表示时间周期的值,此时:

$$[0149] \quad R_i(\tau) = \frac{1}{T_0} \sum_{n=1}^{T_0} T_i(n)T(n + \tau) \quad (5);$$

[0150] 式中, $R_i(\tau)$ 表示相关运算的值;

[0151] 时域信号的周期性体现了传感元件处的振动特性。

[0152] 在时域相关运算器中对两个压电传感芯片的时域信号相互做互相关运算:

$$[0153] \quad R_{ij}(\tau) = \sum_{n=1}^l \sum_{m=1}^l T_i(n)T_j(m + \tau) \quad (6);$$

[0154] 式中, n, m 分别是第*i*个压电传感芯片和第*j*个压电传感芯片的标号,通过对不同数值长度*l*的运算,可以获得不同压电传感芯片安装点之间的相关性; $T_j(m + \tau)$ 表示时间移动 τ 后的时域信号;在静态时,相关值 $R_{ij}(0)$ 表现为冲激响应。

[0155] 在动态情况下,选择具有最大数值的相关值:

$$[0156] \quad R_{ijmax} = MAX(R_{i,j}, l) \quad (7);$$

[0157] 式中, R_{ijmax} 表示相关的最大值; $MAX(R_{i,j}, l)$ 表示在 $R_{i,j}, l$ 中取最大值;

[0158] 振动的周期由*l*决定主模,振动方向为第*i*个压电传感芯片和第*j*个压电传感芯片对应的坐标 x, y, z 所表示的两个点组成的空间矢量。

[0159] 步骤S2.3具体过程为:通过离散傅立叶变换将时域信号转换为频域信号 $F_i(m)$:

$$[0160] \quad F_i(m) = \sum_{n=0}^{N-1} T_n \exp(-j2\pi nm/N), \quad m = 1, 2, \dots, N - 1 \quad (8);$$

[0161] 式中, T_n 表示第*n*个时域信号;

[0162] 取频域信号 $F_i(m)$ 的最大值 $F_{i max}$:

$$[0163] \quad F_{i max} = MAX(F_i(m)) \quad (9);$$

[0164] 式中, $MAX(F_i(m))$ 表示 $F_i(m)$ 中最大的值;

[0165] $F_{i max}$ 体现了空间时间频率压电球振动的基波频率。同时其他谐波体现了空间时间频率压电球振动的不同类型,其分布与空间时间频率压电球的位置以及风的强度方向等因素相关;

[0166] 将时域获得的时域相关的结果 R_{ijmax} 与频域分析的结果 $F_{i max}$ 作进一步合并运算:

$$[0167] \quad F = aF_{i max} + \frac{b}{R_{ijmax}} \quad (10);$$

[0168] 式中, F 是最终获得的空间时间频率压电球振动频率, a, b 是可调整的系数,用于优化结果。

[0169] 铁塔空时频综合器数据搜集;

[0170] 每个铁塔空时频综合器来接收对应空间时间频率压电球的时域信号T、频域信号F和空间位置XYZ的5维信号 $s(i)$;铁塔的不同位置上布设M个空间时间频率压电球,通过MESH网络通信接收到M-1空间时间频率压电球的时域信号T、频域信号F和空间位置XYZ的5维信号,对M个空间时间频率压电球以及M-1个空间时间频率压电球的信号进行统一编号:

$$[0171] \quad s(i, j) = f_i(T, F, X, Y, Z), \quad i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, M \quad (11);$$

[0172] 式中, $s(\cdot)$ 表示获得的时域信号T、频域信号F和空间位置XYZ等5维信号, i, j 表示压电传感芯片的编号;

[0173] 其中,各空间时间频率压电球的时域信号为 T_{ij} ,各空间时间频率压电球的频域信号为 F_{ij} 。

[0174] 铁塔空时频综合器静态数据分析;

[0175] 步骤S2.6的具体过程为:将静态时域信号和静态频域信号进行综合分析的结果将用于判断铁塔的倾斜、局部形变、总体扭曲等。

[0176] 铁塔的倾斜是由地基变化引起的,由此体现铁塔上安装的各空间时间频率压电球的倾斜角度是相同的,设第 j 个空间时间频率压电球初始重力线方向为:

$$[0177] \quad \overrightarrow{F_{0j}} = A_{0j}\vec{x} + B_{0j}\vec{y} + C_{0j}\vec{z} \quad (12);$$

[0178] 式中, $\overrightarrow{F_{0j}}$ 表示初始重力线方向矢量; $A_{0j}\vec{x}$ 表示重力线方向矢量在x轴上的分量; $B_{0j}\vec{y}$ 表示重力线方向矢量在y轴上的分量; $C_{0j}\vec{z}$ 表示重力线方向矢量在z轴上的分量;

[0179] 当第 j 个空间时间频率压电球发生倾斜后变化为:

$$[0180] \quad \overrightarrow{F_{1j}} = A_{1j}\vec{x} + B_{1j}\vec{y} + C_{1j}\vec{z} \quad (13);$$

[0181] 式中, $\overrightarrow{F_{1j}}$ 表示倾斜后的重力线方向矢量; $A_{1j}\vec{x}$ 表示倾斜后的重力线方向矢量在x轴上的分量; $B_{1j}\vec{y}$ 表示倾斜后的重力线方向矢量在y轴上的分量; $C_{1j}\vec{z}$ 表示倾斜后的重力线方向矢量在z轴上的分量;

[0182] 第 j 个空间时间频率压电球倾斜产生的方向的偏移 $\overrightarrow{\Delta F_j}$ 为:

$$[0183] \quad \overrightarrow{\Delta F_j} = \overrightarrow{F_{1j}} - \overrightarrow{F_{0j}} \quad (14);$$

[0184] 若铁塔上安装的M个空间时间频率压电球都满足预设条件 $\overrightarrow{\Delta F_j} = const$ 是常数且不为0,则认为铁塔满足整体倾斜条件。

[0185] 铁塔的局部形变、总体扭曲等由铁塔材料变化或结构变化引起,体现铁塔上安装各空间时间频率压电球的倾斜角度是不相同的,即 $\overrightarrow{\Delta F_j}$ 根据 j 的不同而异则说明铁塔发生形变扭曲。形变扭曲可由空间形变矩阵运算获得。

[0186] 铁塔空时频综合器静态数据分析;

[0187] 步骤S2.7的具体过程为:在铁塔空时频综合器中进行动态分析,用于判断铁塔的动态状态,主要由外力如风力或撞击引起;

[0188] 动态情况下, $\overrightarrow{\Delta F_j}$ 随时间而变,在一定时间范围内做时域相关运算:

[0189] $R_j(\tau) = \sum \overline{\Delta F_j}(t) \cdot \overline{\Delta F_j}(t + \tau) (15);$

[0190] 式中, $R_j(\tau)$ 表示时域相关运算的值; $\overline{\Delta F_j}(t + \tau)$ 表示 $\overline{\Delta F_j}$ 随时间间隔 τ 而变的值;

[0191] 在 $R_j(\tau)$ 中选取最大值的一个相关值:

[0192] $R_{j\max}(\tau) = \text{MAX}(R_j(\tau)) (16);$

[0193] 式中, $R_{j\max}(\tau)$ 表示时域相关运算的最大值; $\text{MAX}(R_j(\tau))$ 表示在时域相关运算结果中取最大值;

[0194] 则 τ 体现了铁塔的振动周期。

[0195] 对 $R_j(\tau)$ 作离散傅里叶变换,得到动态功率谱:

[0196] $P_j(\omega) = \mathcal{F}(R_j(\tau)) (17);$

[0197] 式中, $P_j(\omega)$ 表示动态功率谱; \mathcal{F} 表示离散傅里叶变换;

[0198] 在 $P_j(\omega)$ 中取幅度最大的频点 ω_0 :

[0199] $P_j(\omega_0) = \text{MAX}(P_j(\omega)) (18);$

[0200] 式中, $\text{MAX}(P_j(\omega))$ 表示动态功率谱中取最大值;

[0201] ω_0 体现了第j个空间时间频率压电球振动的基波频率,同时其他谐波体现了振动的不同类型,其分布与该空间时间频率压电球的位置以及风的强度方向等因素相关。

[0202] 进一步,空间时间频率压电球的动态功率谱共有M个,分别为 $P_1(\omega)$, $P_2(\omega)$, $\dots\dots P_M(\omega)$,取动态功率谱幅度最大的第p个空间时间频率压电球:

[0203] $P_p(\omega_0) = \text{MAX}(P_j(\omega_0)) (19);$

[0204] 式中, $P_p(\omega_0)$ 表示第p个空间时间频率压电球的动态功率谱最大; $\text{MAX}(P_j(\omega_0))$ 表示取动态功率谱中最大值的空间时间频率压电球;

[0205] 第p个空间时间频率压电球即是铁塔产生振动最强的点,同时其他空间时间频率压电球所在的点体现了铁塔振动的不同类型,其分布与该铁塔的结构以及风的强度方向等因素相关。

[0206] 铁塔空时频综合器中的铁塔应力与线路弧垂分析;

[0207] 步骤S2.8的具体过程为:将静态综合分析的倾斜、局部形变、总体扭曲以及动态综合分析得到的外力振动和固有频率进行综合,可以对铁塔的现存的应力状态进行分析;根据静态分析与动态分析的结果可以结合铁塔的结构分析关键应力点的状态W;

[0208] 当W大于临界值 W_0 时,铁塔处于失效状态,由此可以预测铁塔的寿命以及是否需要进行大修;

[0209] 将静态分析的结果与通过MESH网络通信获得的相邻铁塔静态数据分析的结果做进一步分析,可以估计本铁塔和相邻铁塔之间线路的弧垂;

[0210] 若铁塔上安装的M个空间时间频率压电球都满足 $\overline{\Delta F_j} = \text{const}$ 是常数,并且不为零,则说明铁塔满足整体倾斜。且倾斜角度由 $\overline{\Delta F_j}$ 的方向决定。若全铁塔M个空间时间频率压电球的 $\overline{\Delta F_j}$ 各不相同,则说明铁塔发生形变,整体是否倾斜取决于各空间时间频率压电球倾

斜角度的均值:

$$[0211] \quad \overline{\Delta F} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \vec{F}_j \quad (20);$$

[0212] 当 $\overline{\Delta F}$ 不为0时,说明铁塔发生倾斜,角度由 $\overline{\Delta F}$ 的方向决定。

[0213] 假设铁塔指向相邻铁塔的方向为x轴,垂直地面指向空中为z轴,则由此构成的球坐标中,铁塔的倾斜角度可以表示为下倾角 α 以及平面旋转角 ϕ 。设输电线在铁塔端的高度为H,则铁塔倾斜引起的相邻铁塔距离变化量为:

$$[0214] \quad \Delta l = H \cdot \sin \alpha \cos \phi \quad (21);$$

[0215] 而由相邻铁塔距离的变化量再综合考虑温度、输电线路固有长度等条件可以计算由塔体倾斜引起的弧垂变化。

[0216] MESH网络用于将铁塔安装的M个空间时间频率压电球之间实现信息交互,同时通过专有通信信道实现铁塔间信息的互通。

[0217] 如图4-图5所示,其中,ABCDE分别表示第A个空间时间频率压电球、第B个空间时间频率压电球、第C个空间时间频率压电球、第D个空间时间频率压电球和第E个空间时间频率压电球。

[0218] 由于每个空间时间频率压电球都有与其他空间时间频率压电球之间通信的能力,因此对比点对点的通信具有更高的通信的可靠性。当个别空间时间频率压电球MESH网络终端不工作的情况下,可以降级工作,并发布网络链接情况报告,使得本方法具有健壮性。

[0219] 基于空时频压电球的输电铁塔姿态检测系统,应用于空时频压电球的输电铁塔姿态检测方法,包括:布设模块,用于在铁塔不同的位置上布设M个空间时间频率压电球;运算模块,用于运算获得相对于重力线的空间时间频率压电球姿态以及动态加速度力的信息,根据运算得到的信息计算由塔体倾斜引起的弧垂变化。

[0220] 尽管已经示出和描述了本发明的实施例,对于本领域的普通技术人员而言,可以理解在不脱离本发明的原理和精神的情况下可以对这些实施例进行多种变化、修改、替换和变型,本发明的范围由所附权利要求及其等同物限定。

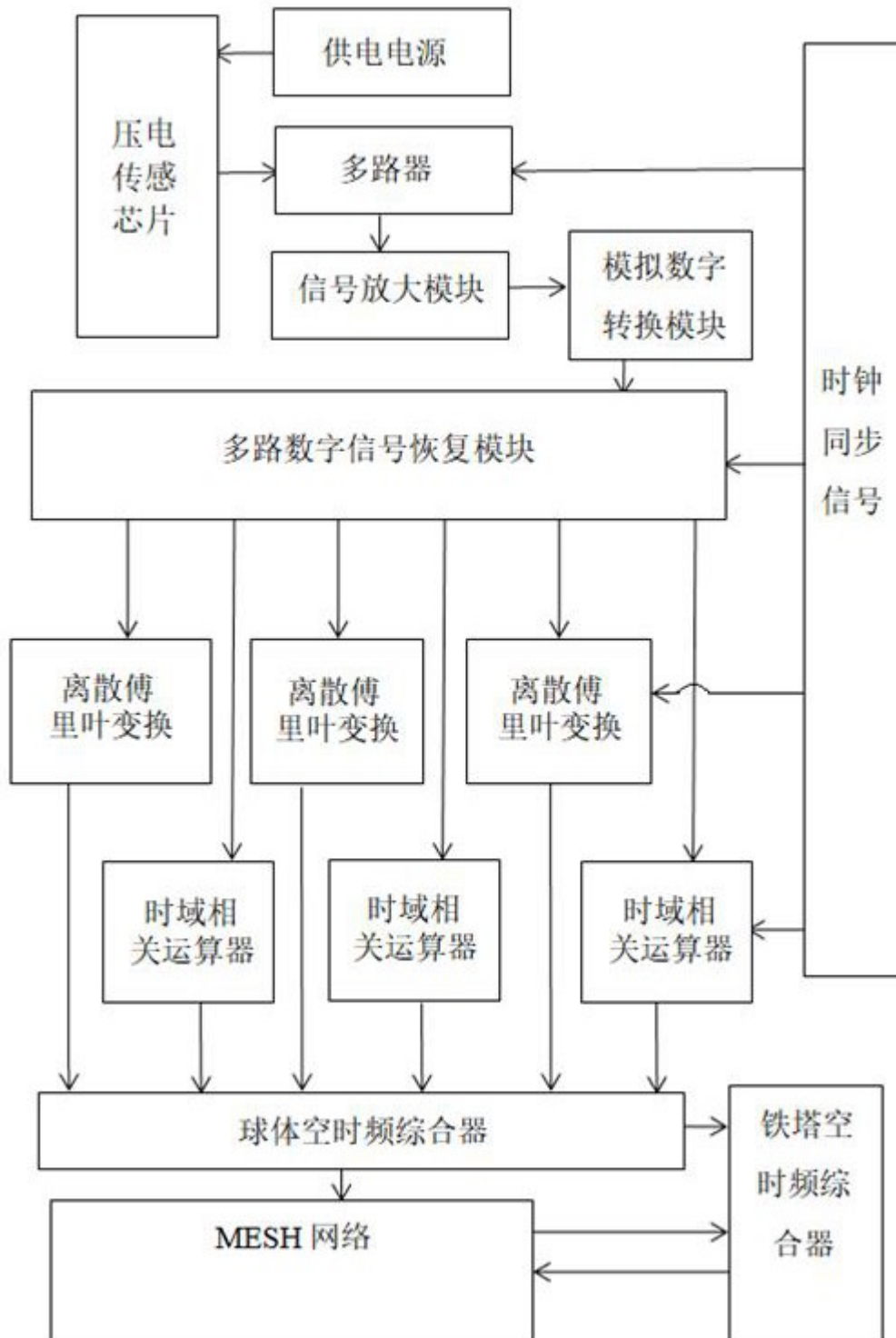


图 1

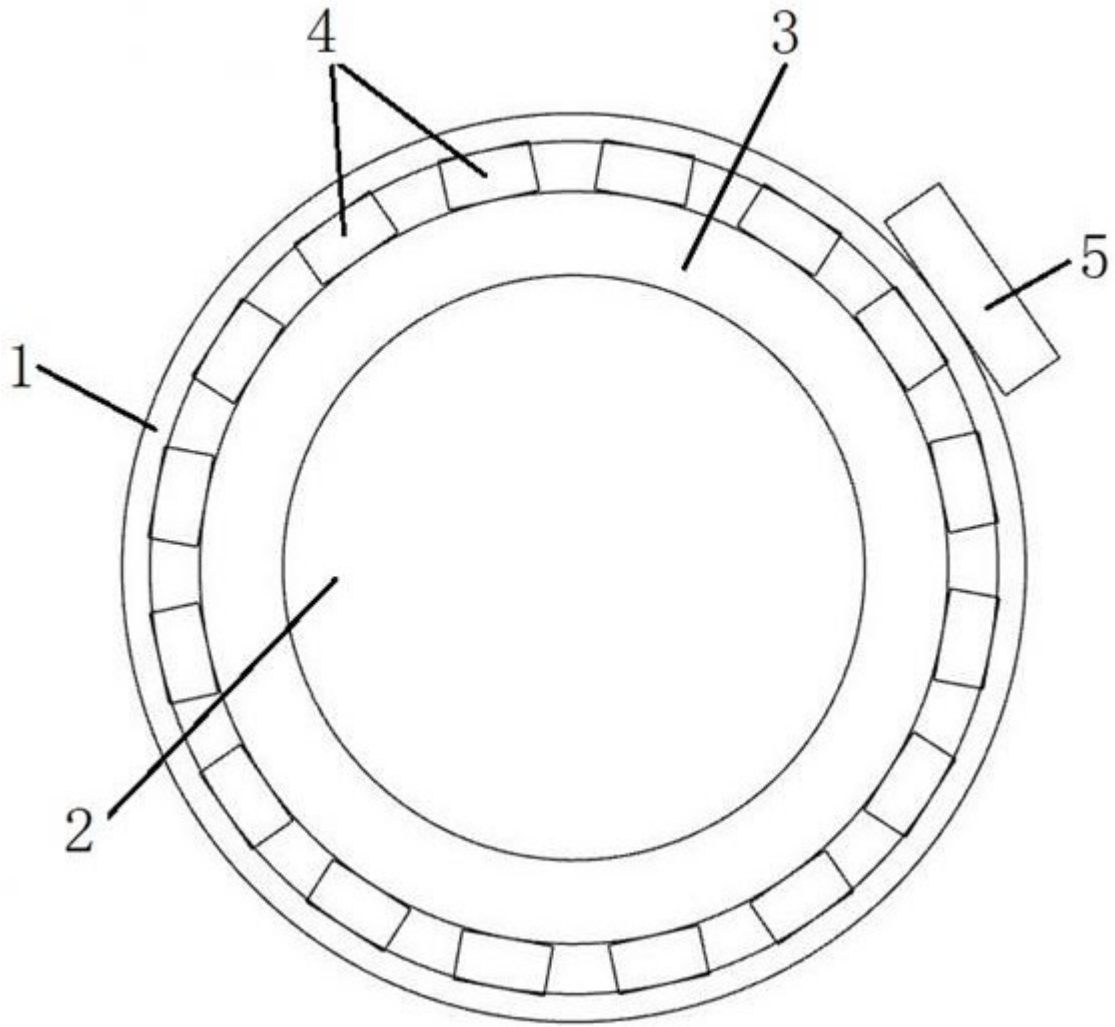


图 2

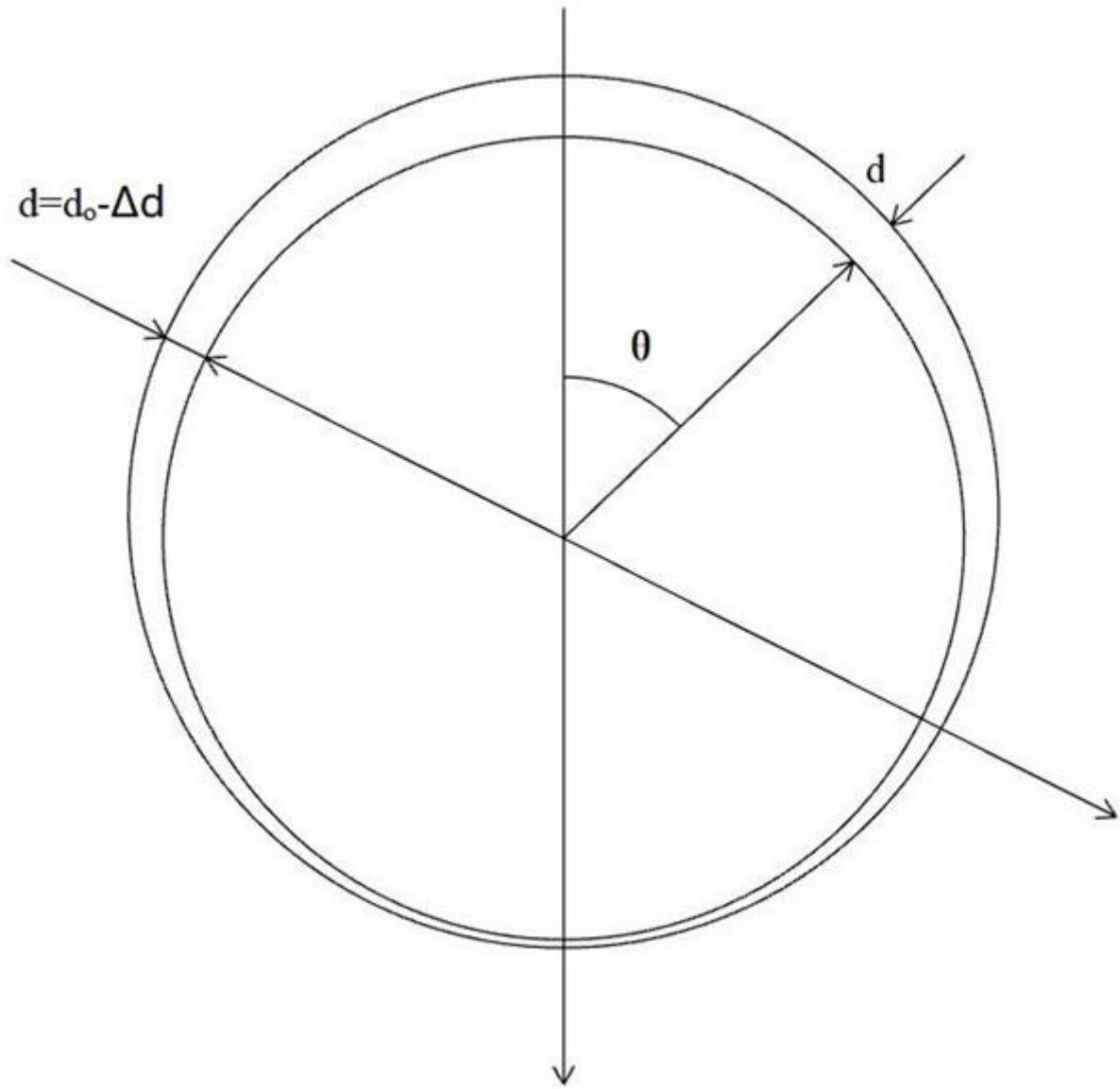


图 3

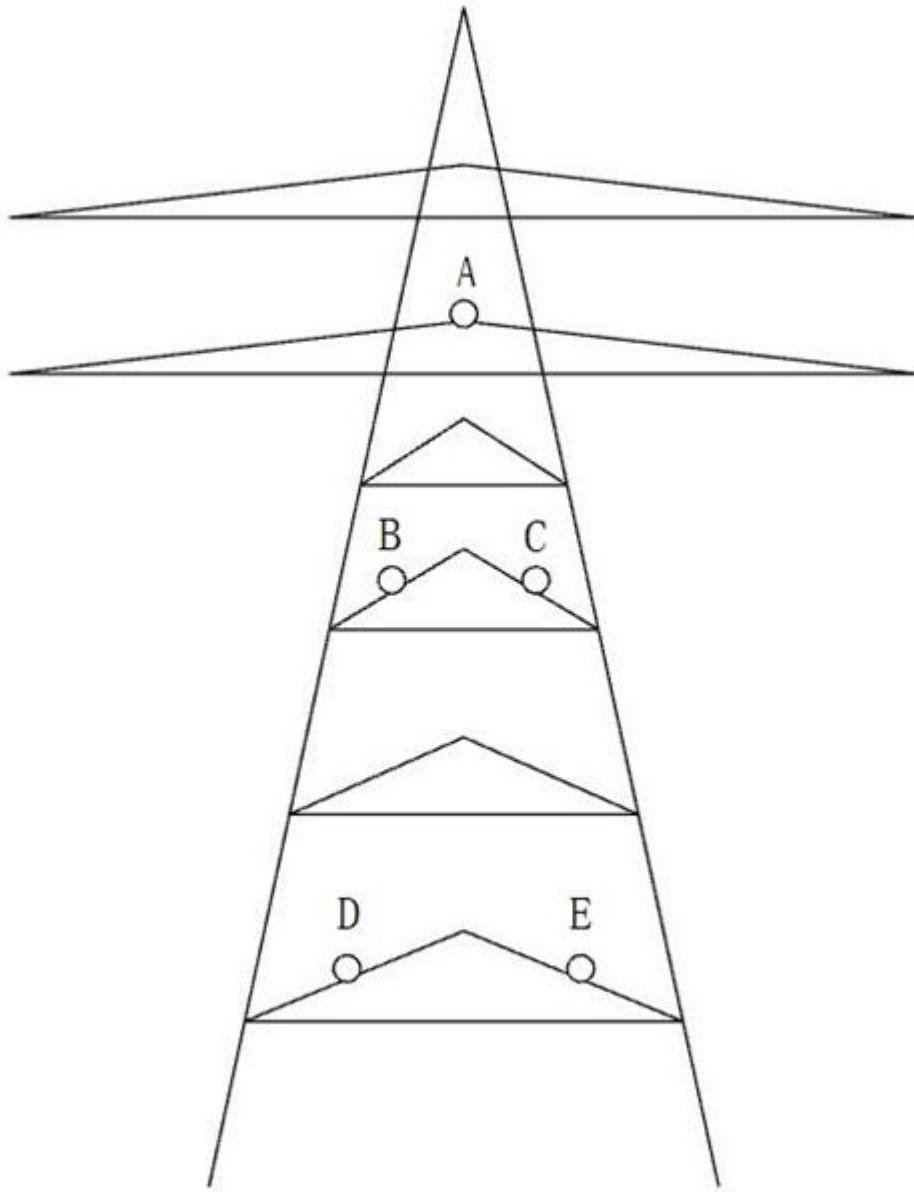


图 4

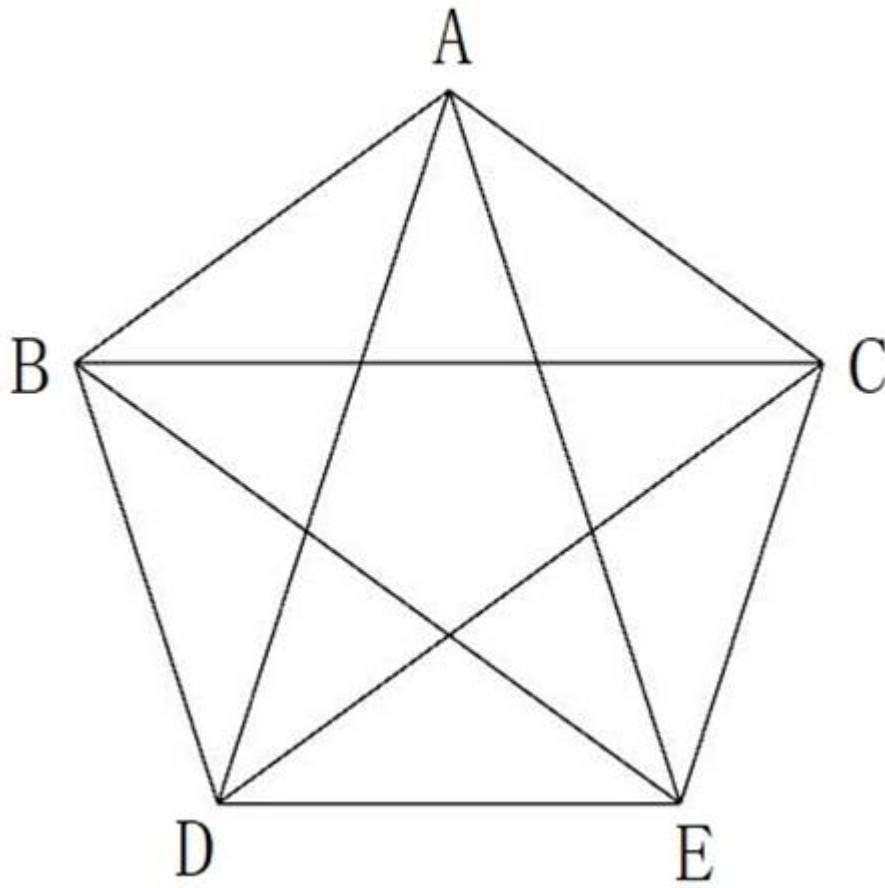


图 5