

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2107210

基于 MEMS 的电网微气象测量方法研究

刘振家 张丕状 沈 坤 倪沛东

(中北大学 信息探测与处理山西省重点实验室 太原 030000)

摘 要: 针对现有的电网微气象测量方法的缺陷,利用风速和风压间的关系,提出一种基于 MEMS 的新型微气象测量方法,并通过实验验证其可行性。实验结果表明,当风速低于 6 m/s 时,误差大于 2 m/s,在风速大于 6 m/s(和风)条件下,本设计的准确度较高,且误差不超过 2 m/s,可满足在较强风条件下使用的需求。并对风速取样器的结构进行了研究,研究表明,风速取样器的结构对于采集的风速数据的精确性有很大的影响,通过实验对风速取样器的结构进行了研究,实验结果表明,采用孔径与壁厚为 3 mm×5 mm,长度为 30 cm 的硅胶采集管风速取样器获得的数据最为接近用来对比的风速采集装置。

关键词: 电网微气象;强风测量;取样器

中图分类号: TN710;TN92 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.10

Research on micro meteorological measurement method of power grid based on MEMS

Liu Zhenjia Zhang Pizhuang Shen Kun Ni Peidong

(Shanxi Key Laboratory of Information Detection and Processing, North University of China, Taiyuan 030000, China)

Abstract: Aiming at the defects of the existing power grid micro meteorological measurement methods, a new micro meteorological measurement method based on MEMS is proposed by using the relationship between wind speed and wind pressure, and its feasibility is verified by experiments. The experimental results show that when the wind speed is lower than 6 m/s, the error is greater than 2 m/s. when the wind speed is greater than 6 m/s (soft breeze), the accuracy of the design is high, and the error does not exceed 2 m/s, which can meet the needs of use under strong wind conditions. The structure of the wind speed sampler is studied. The research shows that the structure of the wind speed sampler has a great impact on the accuracy of the collected wind speed data. The structure of the wind speed sampler is studied through experiments, the data obtained by using a silica gel sampling tube with an aperture and wall thickness of 3 mm×5 mm and a length of 30 cm is the closest to the wind speed sampling device used for comparison.

Keywords: micro meteorology of power grid; strong wind measurement; sampler

0 引 言

电力系统中变电所及架空输配线路组成的整体称为电网,电网承担电力的输送任务。我国地形辽阔,架空输电线路跨区较大,受气象条件影响较大。微气象是研究一二千米以下的近地面小范围气候特点的科学,这种小范围的气候特点一般表现在个别气象的数值上,有时表现在个别天气现象(如风、雾、霜等)上。气象条件对于架空输电线路参数的影响不容忽视^[1],在不同气象条件下及时准确地获得输电线路的实际参数,对于保证电力系统各项分析计算的准确性及安全运行具有重要作用。对于架空的输电线路,风是第一安全影响因素^[2]。而且,一旦由于风灾导致输电

线路故障,很难在短时间内解决事故,会导致损失不断扩大^[3-4]。由此可见测风数据的准确获取对于电网的设计和维持有着重要意义。在自然环境地面风测量中,通常将风定义为水平面上的二维矢量,用风向和风速表示。风速与风向都会对架空输电线路有一定的影响,大量文献表明,风速、流态以及风向均能影响舞动能量来源,一般来说,每秒 4~20 m 风速、风向与线路呈 45°角的情况下,较容易产生线路舞动。常规的风速数据获取方式包括机械式、超声波式、热风式、皮托管等。

机械式风速测量装置通常指风杯式风速测量装置,由 3~4 个圆锥形或半球形的空杯组成。空杯壳固定在互成 120°的三叉星形支架上或互成 90°的十字形支架上,杯的凹

收稿日期:2021-07-08

面顺着—个方向排列,整个横臂架则固定在一根垂直的旋转轴上。当风杯转动时,带动同轴的多齿截光盘或磁棒转动,通过电路得到与风杯转速成正比的脉冲信号,该脉冲信号由计数器计数,经换算后就能得出实际风速值。王晓蕾等^[5]开展了机械旋转式风速计的动态对比实验,指出机械旋转式风速计的动态误差比静态误差大的多,即测量设备在量值传递、计算检定和校准过程中定义的准确度与实测准确度之间的差异已不能被接受。

超声波风速仪的测量方法可分为时差法、相位差法、频差法、多普勒法、波束偏移法和噪声法等^[6]。其中时差法是应用较为广泛的方法。时差法是利用超声波在顺风和逆风路径上传播的速度差来确定风速的大小的。速度差不能直接测量,一般转换成超声波在顺风和逆风路径上传播的时间差。如马欣等^[7]设计的基于超声波测速原理的风速风向测量仪。但超声波风速仪结构较为复杂,维护不方便,抗干扰性差。

热风式、热模式风速仪主要通过检测暴露在流体中的热敏元件的温度耗散和传热速率来测量流体速度^[8-10]。热风式和热模式风速仪稳定可靠,信噪比高且测量精度高、重复性好,但是受单端输入信号饱和的限制,风速测量的范围不大,而且温度测量需要—定的响应时间。李常春^[11]对热球式风速仪的测量不确定度进行了分析。

激光多普勒测速技术是伴随激光器产生的一种测量技术^[12],广泛应用于军事、航空、机械、医学、计量、能源、环保等领域。徐大川等^[13]基于激光多普勒效应搭建了一套极低风速的测量系统,指出激光多普勒测量技术测量的精确度高,但激光多普勒测量的耗电较大,不利于长期无人值守条件下的使用。

皮托管,又名“空速管”,“风速管”,是测量气流总压和静压以确定气流速度的一种管状装置,由法国皮托发明而得名。皮托管可以通过测量气流的静压和总压来确定气流速度^[14]。皮托管式风速传感器受环境影响较大,测压计内部液体在低温情况下会结冰,不易实现全天候测量。

本文从适用于电网微气象测量的角度出发,提出一种基于 MEMS 传感器的风速风向测量方法,利用风压与风速的对应关系,通过 MEMS 压力传感器测量风压从而间接测得风速,同时利用编码与解码的方式测量风向,电路设计简单,降低了测量的成本。并对风速取样器的结构进行了分析与实验,优化风速取样器以降低误差。

1 原 理

从风的形成来看,空气从高压流向低压就形成了风,两边压力差的越多,空气就流动的越快,风速也就越大。也就是说,风速的大小与气压梯度基本成正比。压力产生风,当风以—定的速度向前运动遇到阻塞时,将对阻塞物产生压力,即风压。根据风吹到地面或水面的物体上所产生的各种现象,将风力大小划分为 18 个等级,最小为 0 级,最大为

17 级。风速则为描述风前进速度的物理量。由此可看出,风速与气压(风压)存在定量的数学关系。

根据伯努利方程得出风速和风压的关系,风的动压为:

$$w_p = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (1)$$

其中, w_p 为风压,单位为 kN/m^2 ; ρ 为空气密度,单位为 kg/m^3 ; v 为风速,单位为 m/s 。

由于空气密度(ρ)和重度(r)的关系为 $r = \rho \times g$,因此有 $\rho = r/g$ 。在式(1)中使用这一关系,可得:

$$w_p = \frac{rv^2}{2g} \quad (2)$$

式(2)为标准风压公式。在标准状态下(气压为 1 013 hPa,温度为 15 °C),空气重度 $r = 0.012 25 (\text{kN/m}^3)$ 。重力加速度 $g = 9.8 (\text{m/s}^2)$,则可以得到:

$$w_p = \frac{v^2}{1 600} \quad (3)$$

式(3)为风压与风速的计算通用公式。由式(3)可知,若测得风压的数据,则可以根据风压来计算风速,间接测量风速。

风向的测量可采用编码与解码的方法实现,是十分成熟的技术,在此不做论述。

2 方法与实验

微机械微系统(MEMS)技术提供了一种低价的气体压力方式,目前在海拔高度测量中得到了普遍的应用。由于 MEMS 传感器测量的绝对精度较低,在低风速下误差大,在目前尚未在风速测量中得到应有应用。而且 MEMS 传感器特有的生产方式,保障了工艺参数的一致性,使得生产成本可以得到很大的控制。这些特点都使得 MEMS 传感器在电力运行安全中风速的监测得到应用成为可能。根据计算, MEMS 传感器的技术指标可以保证风速在 10 m/s 以上(6 级风,强风)测量误差小于 1 m/s;而在 5.5~10 m/s (4~5 级风,和风、清风)以内误差小于 2 m/s。

本设计可测量风速与风向,风速的测量使用基于 MEMS 技术的 BMP280 气压传感器间接测得,风向的测量使用光敏三极管、发光二极管和码盘结合的结构来实现。总体的设计框架如图 1 所示。主控模块由 STM32 单片机控制,整个系统由太阳能板和铅酸电池联合供电。当阳光充足时太阳能板给铅酸电池充电且为系统供电,在无光条件下系统由铅酸电池供电。铅酸电池的选用保障了系统在寒冷的室外情况下可以对电池进行充电。在铅酸电池电压大于 2.9 V 的条件下,MCU 控制取样装置采集数据,MCU 会简单处理数据(如将风向编码转换为方向,通过风压计算出风速)然后将数据存储在片外 FLASH 中,然后在太阳能板电压大于 5 V 的条件下定时将数据通过超外差式无线模块发送至中继模块,中继模块将数据储于片外 FLASH 内,在接收到上位机的指令后,将数据发送到上位机进行处理

以及储存。由于中继模块只用于存储数据和与上位机进行交互,因此可以选用电流较大的太阳能板和大容量的铅酸电池以保障中继模块的长期使用。

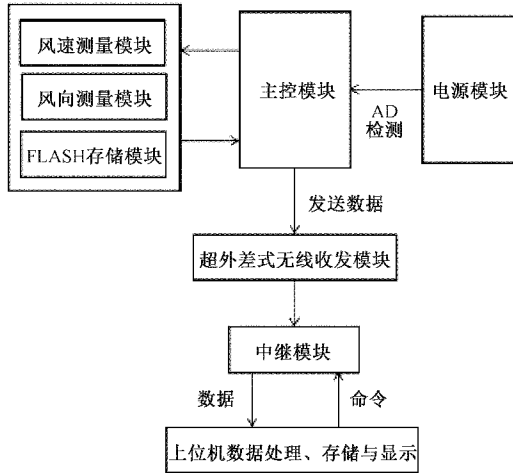


图 1 总体设计框架

风速的取样装置包括取样口、气室和传感器,在取样口处还有一段取样管。将一块传感器置于密闭气室中采集当前风速下的风压,另一块传感器置于同一条件的无风状态下采集当前大气压,二者间会有气压差,由此气压差即可计算当前风速。

风向的取样装置包括光敏三极管、发光二极管以及格雷码盘。光敏三极管通过码盘的缝隙接收到发光三极管的信号后,会形成一组表示方向的特定编码,如表 1 所示。由此测得风向的数据。

表 1 编码对应风向

序号	编码	查表	方向
1	011	0	N
2	101	1	EN
3	010	2	E
4	001	3	ES
5	110	4	S
6	000	5	WS
7	111	6	W
8	100	7	WN

风向的取样装置在结构上,光电三极管与发光二极管一一对应,中间由同轴码盘隔开,当码盘转到无格挡区域时,光敏三极管接收到发光二极管光照,产生电信号。在特定结构的设计下不对应的光电三极管与发光二极管的组合之间不会互相影响。发光二极管只在测量状态下工作,这样可以降低电量的消耗。3个三极管产生的信号在编码后对应不同的方向。在接收到编码信号后,单片机预留程序自动查询输出对应方向。

3 结果与误差分析

为保证设计的系统的有效性,在距离风机出风口的同一位置处使用本设计和市面上其他品牌的风杯式测量仪测量,并记录测量数据进行对比,如图 2 所示。

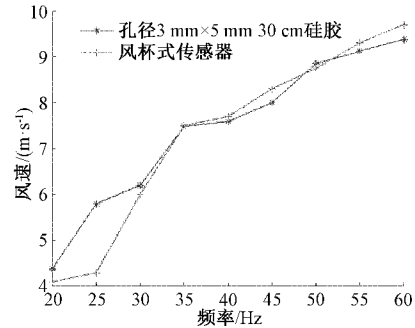


图 2 风压风速测量与风杯风速测量对比

由图 2 可知,在风速低于 6 m/s 时,测量结果不理想,在风速增大时,测量精度逐渐提高,符合前文预计计算结果。

根据公式 $v = 40 \sqrt{w_p}$, 可由风杯式测量仪的风速推出当前风速下的风压,发现在相同的测量条件下产生不同的风压,对于测量中出现的数据误差,除传感器自身的误差外,本设计在将风压信号引入压力传感器时,会经过一段取样管道。经查阅资料了解,气流在进入管道内部时,产生的是脉动压力,这种压力作用于被作用对象上是不均匀的,在某个部位有较集中的或是较大的压力,而且其单次的持续时间并不长,有一定的可能呈现为周期性^[15]。对于这种动态压力的测量,管路系统的动态特性对脉动压力的作用是特别明显的,具体体现在取样管道的材质、长度以及孔径方面;同时取样管的壁厚也会影响取样的精度,在气流打到取样口的管壁上时,会向管壁两侧运动,产生一个与取样口横截面平行的气流,影响进入气室的气流量,导致测量产生误差;同时,管道内流体的不均匀变化会导致管道振动,也会影响测量的精度。采用控制变量的方法来验证取样管道对于数据采集的影响。

当取样管材质和长度都相同而孔径与壁厚做为变量时,在风机不同工作频率下采集到的数据如图 3 所示。

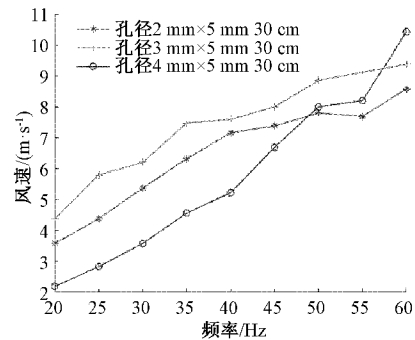


图 3 不同孔径与壁厚下采集到的风速

由图3可知,取样管的孔径会对风速的取样有影响,且不论孔径变大或者变小都会影响数据的采集准确性,在实验中当孔径为 $3\text{ mm}\times 5\text{ mm}$ 时效果最佳。

当取样管材质、壁厚、孔径和壁厚都相同而长度做为变量时,在风机不同工作频率下采集到的数据如图4所示。

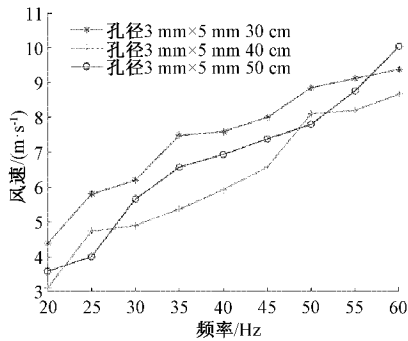


图4 不同长度下采集到的风速

由图4可知,取样管的长度会对风速的取样有影响,且长度越长对数据的采集影响越大。

当取样管孔径、壁厚、长度和壁厚都相同而材质做为变量时,在风机不同工作频率下采集到的数据如图5所示。

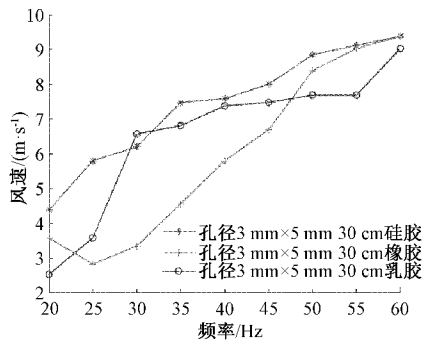


图5 不同材质下采集到的风速

由图5可知,取样管的材质会对风速的取样有影响,当材质为硅胶时效果最佳。

4 结 论

本文利用风压风速关系设计一种新型微气象测量装置,进行理论分析和实验数据分析后,得出如下结论。

1)本设计硬件电路设计及维护简单,消除了机械式风速测量仪在使用时会产生的机械磨损,降低了维护成本并提高了测量装置的使用寿命,可有效测得风速和风向数据。

2)本设计适用于测量大于 6 m/s 的风速,且误差不超过 2 m/s 。风向的测量可以测得8个方向。

3)风速取样器的结构会影响风速测量的精度,风速取

样器的取样管道的孔径、长度、壁厚和材质都会影响取样数据的准确性。其中,取样管的孔径太大或太小都会影响数据的采集,在 $3\text{ mm}\times 5\text{ mm}$ 的孔径与壁厚下效果最佳;长度越短取样精度越高;取样管的材质为硅胶最佳。

参考文献

- [1] 魏明明. 风速测量结果中关于水汽修正项的影响分析[J]. 电子测量与仪器报, 2019, 33(6): 103-111.
- [2] 楼文娟, 段志勇, 金晓华, 等. 风速水平空间相关性对长横担输电塔风效应的影响[J]. 振动与冲击, 2014, 33(13): 63-66.
- [3] ABDELAAL E S, MILLS J E, MA X. A review of transmission line systems under downburst wind loads[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2018, 179: 503-513.
- [4] 孟毅, 陈继东, 胡丹晖. 架空输电线路覆冰在线监测系统的运行[J]. 中国电力, 2011, 44(5): 38-40.
- [5] 王晓蕾, 郭俊, 陈晓颖, 等. 两种测风仪的动态对比试验及分析[J]. 解放军理工大学学报(自然科学版), 2014, 15(3): 283-289.
- [6] 胡全辉. 基于超声波的风速风向仪研究与设计[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2019.
- [7] 马欣, 赵继超. 基于超声波的风速风向测量仪设计[J]. 现代制造技术与装备, 2021, 57(4): 96-98.
- [8] 刘佳佳. AIN基MEMS风速风向集成传感器的设计[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2013.
- [9] 姚伟. 微风速矢量测量系统[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2012.
- [10] 韦青燕, 张天宏. 高超声速热线/热膜风速仪研究综述及分析[J]. 测试技术学报, 2012, 26(2): 142-149.
- [11] 李常春. 热球式风速仪测量不确定度的分析与评定[J]. 国外电子测量技术, 2019, 38(8): 33-38.
- [12] 陈益萍. 激光多普勒测速技术原理及其应用[J]. 电子世界, 2013(7): 35-37.
- [13] 徐大川, 龙彦志, 李玉栋, 等. 基于激光多普勒原理的极低风速测量实验[J]. 航空动力学报, 2020, 35(6): 1228-1237.
- [14] 魏明明. 皮托管测量风速时GUM评定不确定度的偏差修正[J]. 仪器仪表报, 2019, 40(6): 146-154.
- [15] 吕永志. 压力测试取样管路系统动态特性分析及畸变信号的修正[D]. 太原: 中北大学, 2017.

作者简介

刘振家, 硕士研究生, 主要研究方向为硬件电路设计、嵌入式系统。

E-mail: 675953995@qq.com