

## 风力发电机桨叶避雷线断线检测系统设计研究

王海鹏<sup>1</sup> 李朝顺<sup>2</sup>

1 国华瑞丰(利津)风力发电有限公司, 山东 东营 257000

2 神华(无棣)新能源有限公司, 山东 滨州 256600

**[摘要]** 风电机组桨叶在运转过程中, 被一系列极端天气所影响, 例如雷击, 会直接损害到桨叶中的两种系统, 一种是机械系统, 另一种就是电气系统, 有的时候, 还会导致爆炸等事故, 并且造成一定时间的停工, 损失很多的发电量。因此在风电机组桨叶中, 有必要对避雷线进行全面的检测, 这有着较大的现实意义。基于此, 文章给出一种测试系统, 这一系统结合行波法原理, 通过对多个装置的使用, 比如信号发生器以及传感器, 针对所获得的信号数据, 开展相应的处理, 在此基础上, 确定断线的实际位置。通过实验结果可知: 和欧姆法测断线进行比较, 系统选择优化的测试装置, 重量较轻, 用不着借助人工的方式, 来提升装置, 并且能够准确确定断线位置, 精准度没有超过 0.5 米, 存在着突出的技术优势。

**[关键词]** 风电机组; 系统基本原理; 信号发生器; 高速数据采集卡

DOI: 10.33142/hst.v4i4.4403

中图分类号: TM315; TM862

文献标识码: A

## Design and Research of Wind Turbine Blade Lightning Wire Breaking Detection System

WANG Haipeng<sup>1</sup>, LI Chaoshun<sup>2</sup>

1. Guohua Ruifeng (Lijin) Wind Power Generation Co., Ltd., Dongying, Shandong, 257000, China

2. Shenhua (Wudi) New Energy Co., Ltd., Binzhou, Shandong, 256600, China

**Abstract:** During the operation of wind turbine blade, it is affected by a series of extreme weather, such as lightning, which will directly damage two systems in the blade, one is the mechanical system, the other is the electrical system. Sometimes, it will lead to accidents such as explosion, shutdown for a certain time and loss of a lot of power generation. Therefore, in the wind turbine blade, it is necessary to comprehensively detect the lightning conductor, which has great practical significance. Based on this, this paper presents a test system, which combines the principle of traveling wave method and carries out corresponding processing for the obtained signal data through the use of multiple devices, such as signal generator and sensor. On this basis, the actual position of disconnection is determined. Through the experimental results, it can be seen that compared with Ohmic method, the system selects the optimized test device, which is light in weight, does not need to lift the device manually, and can accurately determine the wire breaking position, with an accuracy of no more than 0.5m, which has outstanding technical advantages.

**Keywords:** wind turbine; basic principle of the system; signal generator; high speed data acquisition card

### 引言

针对风电机组, 其桨叶在顺利运转过程中, 极有可能被极端天气所影响, 让桨叶中的两种系统被损害, 一种是机械系统, 另一种是电气系统, 若情况较为严重的话, 容易导致叶片的一系列事故, 例如爆炸。因此做好避雷线的检测, 是相当关键的。以往在测量避雷线断线时, 常常会应用欧姆定律检测。对于完整的避雷线, 基于外加电压作用, 会显示很低的电阻值, 而对于完全断裂导线, 基于额外电源作用, 电阻则会显示无穷大。因此, 开展的避雷线检测, 需要把所测避雷线, 产生完好的回路, 在此基础上开展测试。不过这样针对闪电器, 应当对其开展连接操作, 现如今的检测方式, 均应当借助吊车, 或者利用自爬机器人。对于此方式来说, 效率是相当低的, 对辅助器械进行测试, 会形成很多的人工与机械利用费用。

文章结合上述提出的问题, 设置了避雷线检测系统, 在这一系统中, 包含着诸多的成分, 例如信号发生器。借助该发生器, 会释放一定的脉冲信号, 在此之后, 通过电流传感器, 采取行波法, 获取相应的回波信号, 传送至信号采集卡, 选用专门的软件, 针对反射波以及入射波, 对二者的时间差进行检测, 并且基于避雷线, 对脉冲波的传播速率进行检测, 结合  $S=V \times T$ , 明确信号的传播距离, 然后结合叶片长度, 并且综合避雷线长度, 进一步开展比较判断, 确定避雷线有没有断线。

### 1 相关介绍

(1) 风电机组。在风力发电电源中, 包含着较多的成分, 例如逆变器以及风电机组等, 后者主要包含两个成分,

即风轮以及发电机；而在风轮中，既存在叶片，也包含加固件；其具备一系列的功能，也就是机头转动等。风速选取：基于低风速区域，通过选择低风速发电机，有助于提高对风能的使用率，平均风速没有超过 3.5 米每秒，同时不存在台方的区域，应当优先考虑低风速产品。（2）现代行波法。对于现代行波法，本文主要从行波相关法、高频行波法等方面进行分析，以供参考。1）行波相关法。这一方法所结合的原理：对于正、反向电压行波，二者间的波形是差不多的，极性不一样，对于时间延迟来讲，就是行波来回所耗用的时间。对两者开展有关的分析，将行波倒极性，同时延迟时长之后，函数有着极大值。在该方法下，需要对反射波以及透射波进行区分。因为在部分故障现象下，有着一定的透射波，能够和反射波出现重叠，有碍于相关法测距。2）高频行波法。和别的行波法进行比较，这一方法有着一定的不同，主要体现于：先对行波分量进行提取，在此之后，开展有关的数字信号处理，最后结合 A 型行波法，进一步来开展故障测距<sup>[1]</sup>。就此方法而言，结合反射特点，针对反射波以及透射波，达到了有效区分二者的目的。（3）信号发生器。对于信号发生器来讲，其本质上就属于一种设备，不但可以提供频率，也能够释放一定的信号。针对电信设备以及系统，在对有关特性进行测量时，例如频率特性，既可以看成信号源，也能够当作激励源来使用。通常情况下，该设备有着两种称法，也就是信号源以及振荡器，被大力推广于多个领域，例如科技领域。通过函数方程式，可以进一步来体现波形曲线，可以形成一系列波形，即方波、三角波等。

## 2 避雷线断线检测系统基本原理

对于系统基本原理，本文主要从线圈传感器原理、新型高频传感器、系统基本流程、高速数据采集卡等方面进行探讨，以期能为相关人员提供借鉴。

### 2.1 行波检测法

对于行波法的原理来讲，指在故障出现时，故障点形成的行波，趋近于光速，朝着线路左右端传播，行波至两端变电站，需要一定的时间，在有效记录该时间的基础上，算出故障点位置（详情见图 1）。给出行波信号，在反射波至故障点时，因为这一点属于金属性短路，形成全反射，这个时候，反射系数是-1，入射波所有被反射，同时变化了极性，在此之后，返至检测端 M，当处于  $t_2$  时刻，至 M 点。故而，就所测时间而言，能够直接影响定位的精准性，基于此，需要有着较大的采样频率。

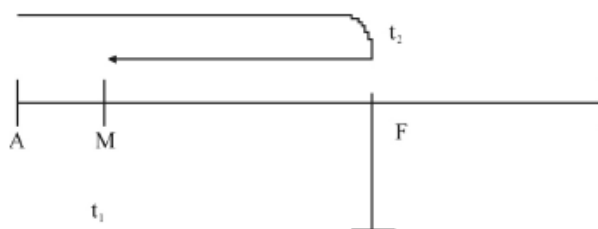


图1 行波检测原理

### 2.2 线圈传感器原理

对于 Rogowski 线圈来讲，其属于空心环形线圈。根据安培环路定律可知：

$\oint H \cdot dl = I(t)$  (1)，通过  $B = \mu H$ ,  $e(t) = d\Phi/dt$ ,  $\Phi = N \int B \cdot dS$ ,  $e(t) = M \cdot di/dt$ ，在其截面属于矩形时，对于互感以及自感系数而言，依次为： $M = \mu_0 N h \ln(b/a) / 2\pi$  (2),  $L = \mu_0 N^2 h \ln(b/a) / 2\pi$  (3)。在式子 1 至式子 3 中，用  $H$  来表示磁场强度， $\mu_0$  用来表征真空磁导率， $B$ ：代表磁感应强度， $N$  表征线圈匝数，针对线圈左右端，用  $e(t)$  表示其感应电压， $a$  用来表征横截面内径，通过  $b$  来表示外径，最后用  $h$  表征截面高度。显而易见，在线圈一定时， $M$  属于一个恒定值，就输出电压以及  $di/dt$  来讲，有着正相关的关系<sup>[2]</sup>。

### 2.3 新型高频传感器

基于 Rogowski 传感器，针对传感器线圈，对其结构开展改变，在这一系统中，会借助传感器磁芯，由此选择铁氧体材料，对铜线实行改变，以便能够实现三层铜片叠加。基于以往传感器线圈，对其进行一定的改变，进而选取铁氧体磁芯，用铜带进行缠绕，在此基础上产生相应的传感器。通过增加层数，主要为了提高电容，产生慢波传感器，在有效利用这一传感器的前提下，可以有效采集高速信号。因此，通过此高速传感器，针对避雷线断线，能够很好定位其位置。

## 2.4 系统基本流程

通过信号发生器,形成一定的脉冲波,把入射波传入避雷线(此处避雷线源于叶片根部),由避雷线至叶尖的方向,来对脉冲进行传播,在传输至叶尖的位置,形成相应的反射波,其由叶尖的地方,传到叶根的位置,通过两种装置,来对波进行采集,一种是传感器,另一种是采集装置,这里的波主要包含两种,即入射波以及反射波,借助相关的软件,对二者间的时间差进行检测,结合行波法的原理,针对避雷线,进一步来明确其具体断线位置<sup>[3]</sup>。组成系统的成分较多,其中包含多个模块,例如信号采集模块。对于信号发生部分,主要是为了形成脉冲信号,通过对传感器的使用,就是为了针对回波信号,能够实现对它的检测,对于信号采集模块,即用来对信号进行检测,对于数据处理部分,主要是为了对信号进行分析,在确定故障类别的同时,也对故障点处进行判断。就这一部分来说,常常通过系统分析部分,从而获取相应的数学模型,在此基础上,进一步来开展编程分析,同时获取分析结果。

## 2.5 高速数据采集卡

在这一系统中,对于信号采集装置来讲,应当借助不超过 2Gs/s 的采样率,装置的宽带需要不超过 500 兆,通过这样的方式,不但有助于保存数据,而且可以有效定位断线部位。此研究所选择的 M4I.22xx,无论是高输入宽带,还是采样率,都有着较好的适用性。在六个较快的型号中,存在 1GHz 的带宽,在三个较慢的型号中,也存在 500MHz。在 M4I.22xx 中,存在数个数据通道,同时也包含转换器核心,就任何一个输入通道来讲,都能够适应信号源。除此之外,能够借助同步总线,更新至系统数据,在此基础上,输入 4G 大内存。对于这一存储器而言,也能够当作 FIFO 缓冲区。基于 FIFO 模式,能够以在线传输的形式,把数据传输至硬盘,当然也可以传到 PCRAM,对于该数据采集卡来讲,是满足具体要求的。

## 3 实验分析

在实验平台硬件中,包含着较多的成分,例如示波器以及传感器等。基于需要检测的电线,在其上面套上适当的传感器,由信号发生器,提供相应的脉冲信号,在此之后,通过传感器,把信号显示于示波器,在此基础上,结束一次检测。

### 3.1 测试结果对比

通过信号发生器,可以提供这样的方波信号,即 10Vpp, 50KHz。针对以下两种传感器,对采集效果进行比较,一种是以往传感器,另一种高频传感器。无论是线圈匝数,还是磁芯等,这两个传感器都是一样的<sup>[4]</sup>。在回波信号幅值方面,相比于以往传感器,高频传感器大概能够超过其四倍。另一方面,就传统传感器而言,其信号存在滞后性,有着相对多的杂波,上升时间相对慢。

### 3.2 避雷线断电处测试结果

把 1 根长度为 38m 的电线,从 8m 的位置剪断,针对剪断的部位,将其当作断点,基于前 8m 长的电线,在其上面套上传感器,就可以获取回波信号。对于所获取的回波信号,通过上位机系统,来对其进行分析,基于 LabView 开发环境,利用该系统,能够开展单次或者多次的测量,结合具体的参数设置,进一步来选取需要的峰值点。对于测量结果来说,其通过一系列点构成,基于结果的上沿以及下沿,依次选择一个点,结合这两个点的差值,就能够获得断线的实际位置。就测试避雷线来说,其长度达到 38m,通过整个测试系统,其中包含多个装置,例如发生器以及传感器,测量至断点处,为正的 8.46m,具体断点于正向 8m,精准率大概为 0.5m。

## 3 结论

根据传感器实验能够得知:在对信号进行测量的过程中,就传统传感器而言(在其上面缠有铜线),无论是响应速率,还是信号幅值,相比之下,均没有超过高频传感器,在信号采集方面,这一传感器有着突出的技术优势;结合本文提出的测试系统,根据实验能够表明:断点的精准度没有超过 0.5m,可以满足实验要求。

### [参考文献]

- [1]赵学全,李贵,刘强.风电场叶片避雷线断线事故分析[J].产业科技创新,2020,2(22):55-56.
- [2]马高晨,郑力全,刘利军.风力发电机桨叶避雷线断线检测系统设计[J].绿色科技,2021,11(16):233-234.
- [3]王金明,马高晨.基于风力发电机桨叶避雷线断线检测系统研究[J].绿色科技,2020(6):233-234.
- [4]侯仁保,李如虎.雷击避雷线断线原因的探讨[J].华东电力,2017(9):18-20.

作者简介:王海鹏(1993-),男,山东济南市人,汉族,大学本科学历,助理工程师,研究方向为风电机组运维工作。