

# 电力电缆故障精确定点检测系统设计

郭 瑶

国网江西省电力有限公司南昌供电分公司, 江西 330006

摘要: 随着时代的高速发展与技术的更新迭代, 各行各业对于电缆的需求持续增加。但无论电缆如何设计与制造, 电缆故障是难以避免的, 因此出现故障时, 如何迅速精准地定位故障位置成为了检修工作的关键。本文介绍了电缆的基本结构, 分析了常见故障及其机理, 并探讨了采用低压脉冲反射法的电缆故障测试系统的设计思路及具体设计方案。

关键词: 电力电缆; 电力电缆故障; 精确定点检测系统

## 一、电力电缆基本结构

电力电缆是对电能进行传输与分配的工业设备, 有多种分类方式(电压等级、绝缘材料等)。不同类别的电缆其基本组成部分大体一致, 一般包括线芯、绝缘层、屏蔽层和保护层。线芯是电缆的核心部分, 位于电缆内部中心, 用于输送电流; 绝缘层则用于隔绝不同相线芯, 起到保证电能输送的作用; 保护层位于表层, 能够保护电缆不会受到外部环境中感染因素的影响; 而 15 KV 以上的电力电缆则一般会配备有屏蔽层。

电力电缆占地少、可靠性高、分布电容大、维护简单、被电击可能性低等显著优势, 在各个领域所占据的比重呈指数上升的趋势。

## 二、电力电缆常见故障及机理分析

一般而言, 根据故障点的性质将阻抗作为分类标准, 可能把种类繁多的电力电缆故障简化为低电阻故障、高电阻故障与开路故障三种。

### (一) 开路故障

开路故障是指工作电压不能正常地经过电缆并传输至终端, 或者终端有正常电压、但因为负载能力较差导致无法完成电力传输工作。变电站经常会出现此种故障, 导致整个电力系统内电压和电流出现异常变换。

### (二) 低电阻故障

低电阻故障是指线芯的连续性良好, 但接地绝缘出现异常, 则其电阻会持续降低, 当电阻值低于  $10 Z_c$  时, 电缆便会停止工作。例如, 当短路发生时, 电阻值趋近为零, 而输出电流无限大, 在这种情况下, 短路故障便产生了。

### (三) 高电阻故障

高电阻故障与低阻故障存在一定的相似性, 也是因为接地绝缘电阻异常而造成的问题, 不过, 与低阻故障相反的时候, 高电阻故障是因为接地绝缘电阻数值低于正常值但高于  $10 Z_c$ 。该故障一般是在进行耐压性测试(如使用高压闪络法测试)时产生的, 因此存在一定的闪络性, 常表现为当电压达到临界值时, 就会发生电压击穿。电流强度瞬间增加, 出现有闪络性波动。当电压数值下降, 该现象也随之消失。

## 三、故障精确定点检测系统分析

系统主要针对出现频率较高的开路故障和低电阻故障, 基于低压脉冲反射法的原理来进行故障精确定点系统的设计。

### (一) 电力电缆故障的定点

根据行波传输原理, 选择电缆的一个位置作为测试点, 并自此处发射一束电磁波, 若电缆中存在特性阻抗不匹配(impedance matching)的位置, 电磁波传输至该位置时就会形成反射波。因为已知点传播速度与往返传播一次所用时间, 所以通过分析屏幕上的发射波和反射波图形, 可立即计算出故障发生位置与测试点之间的距离, 从而精确定位故障位置。

相关计算公式为:

$$S = VT/2$$

式中 S——故障点与测试点之间的距离;

V——电波传播速度;

T——往返传播一次所用时间。

因此, 若 V 和 T 已知(可通过测量得出), 就可计算出 S 的值, 即故障点与测试点之间的距离。

根据分析返回电磁波的波形, 维修人员能够判断故障所属类型。如果测试点输入的是正向脉冲且产生的故障是低阻故障, 则反射回来的应该是负向脉冲; 如果测试点输入的是正向脉冲且产生的故障是开路故障, 则反射回来的应该是正向脉冲。其中, 短路故障是低电阻故障中的一种特殊故障。

### (二) 电磁波的衰减

电磁波在电缆中进行传输的过程中, 会出现一定程度的能量损失, 形成具有一定规律的信号衰减。如果电缆结构一定, 则衰减程度与电缆的长度正相关, 即电缆长度越长衰减程度越大。另外电磁波衰减也与电磁波自身频率有关, 在同一段电缆中, 信号频率越大, 电磁波衰减程度越大, 因此在电磁波传输中不同频率电磁波的衰减程度, 会导致信号失真的产生, 这将会导致维修人员难以对波形进行精确判断与定点。

本设计会涉及选取电磁脉冲宽度, 该数据会对测量结果产生较大影响。采用低压脉冲反射法进行故障检测必须考

考虑测量盲区,即测量的最大长度和最小长度。最大长度由发射点电磁波自身的能量决定,而电磁波宽度又与电磁波能量正相关,因此电磁波的宽度越大,其能量就越大,测量的长度也就越大。另外,由于电磁波测量的最小长度由脉冲的宽度决定,当故障点与发射点过于接近时,故障点所反射的电磁波与发射点的电磁波无法完全分离且会存在重叠部分,造成故障点无法显示的问题。因此,想要清楚准确地屏幕上显示出故障点,必须要满足以下公式:

$$T = 2L/V$$

式中L——发射点到故障点的距离(千米);

T——电磁波宽度(秒);

V——电磁波传输速度。

依据真实应用场景,本设计设定了两种电磁波宽度,宽电磁脉冲2秒、窄电磁脉冲0.2秒,通过复杂可编程逻辑器件进行控制,维修人员可以通过按键进行切换。

### (三)故障精确定点检测系统功能设计

本系统想要实现对电力电缆故障的识别和定位,必须具备以下几点功能。

#### 1.可控脉冲源

系统所产生的电磁波信号,其频率和宽度必须可以自行调控。

#### 2.据采集与存储

因为无法预知电缆故障信息,且暂态电压行波信号具有存续时间短、传播速度快的特点,所以数据采集设备应当具备高效的数据采样与存储功能,并且其采样频率应达到兆赫兹级。数据采集单元应当在电缆正常运行时,能够持续性地进行数据采样并具备储存一定时间段历史信息的功能。当出现电缆故障时,系统应当迅速锁定故障发生前后一定时长内的历史信息,并将数据上传至CPU。

#### 3.数据处理

系统应当实现存储数据的处理功能,可帮助维修人员清除掉数据中的干扰因素,从而能够精准判断故障点。

#### 4.按键与显示设备

应当配备基本的输入输出设备,实现对相关数据、参数的可视化、直观化操作。

### 四、故障精确定点系统的具体设计方案

#### (一)硬件电路构成

硬件电路系统由单片机和复杂可编程逻辑器件构成双控制器,单片机外部可扩展FLASH,编程逻辑器件则与液晶屏、按键模块相连接,可添加一个随机存取存储器,运算放大器和AD组成的数据采集单元与编程逻辑器件相连,并配备有相应的接口与测试口。

#### (二)配套软件设计

当维修人员通过测量电缆相间或相对地的绝缘电阻,确定发生故障为低电阻路故障或开路故障,则可以通过本系统进行测量工作。

测量工作开始时,维修人员通过可视化操作界面选择低压电磁波的方式。跳转到测试界面后,可根据实际工作中的具体要求设定数据采样的频率,可参照的标准为若故障发生位置在20~1000千米之间,设定频率为50;若故障发生位置在20~2500千米之间,设定频率为25;若故障发生位置在30~4000千米之间,设定频率为12;若故障发生位置在60~8000千米之间,设定频率为6。然后根据电缆的介质类型与实际长度设定相应的电磁波传播速率及其他相关参数。最后按下采集按钮开始数据采集,在该过程中可以通过相关功能按钮实现对所采集波形的调整。

完成上述操作后,维修人员可以开始进行故障判断,若反射波与发射波相位相同,则电缆中产生的故障为断路故障;若反射波与发射波相位相反,则为低阻故障。可通过方向按键设定游标的起始位置(也就是发射波的入射点),确定起始位置后,通过再次使用方向按键将游标移动至反射电磁波的拐点位置,此时显示设备面便会出现故障点与测试间的距离,至此一次完整的故障检测工作便结束了。

#### 五、结束语

综上,通过采用低压脉冲反射法的基本原理进行了电缆故障精确定点检测系统的设计,能够完成低电阻故障和开路故障的类型判断与故障点定位,降低了维修人员工作量与专业性要求。

#### 参考文献:

- [1] 郭锐. 电力电缆故障监测及预警系统的设计[J]. 科技创新与应用, 2017,(22):94-95.
- [2] 谌业刚, 龚士宝, 陈斌, 尤鉴, 翟浩, 曹皖诚. 电力电缆故障监测及预警系统的设计[J]. 测控技术, 2017,36(1):144-148.
- [3] 杨杨. 电力电缆故障监测及预警系统的设计[J]. 建筑工程技术与设计, 2018,(10):1998.
- [4] 石武. 电力电缆故障监测及预警系统设计研究[J]. 中国设备工程, 2018,(15):118-119.
- [5] 安彤. 航空电缆故障在线检测与定位技术的运用分析[J]. 军民两用技术与产品, 2018,(14):224-225.

通讯作者:郭瑶,1989年12月,男,汉族,江西宜春人,就职于国网江西省电力有限公司南昌供电分公司,本科。研究方向:电力电缆、配电网工程、配电网自动化。