

基于电桥法电缆绝缘故障自动测距的研究

针对行波法在电力电缆绝缘故障定位中存在反射波头难以识别、对电缆长度有特定限制、对专业经验要求较高等问题,本文设计了一种数字式电缆绝缘故障自动定位仪。该仪器基于电桥法原理设计,集电缆长度测量电桥及电缆绝缘故障定位电桥于一体,无需电缆的长度数据。通过恒流检测电路自动提高高压电源的输出电压;采用高精度数字电位器以及单片机控制人机接口、光电隔离和电桥平衡等部分,确保系统具有高精度、稳定性和快速性;高低压之间采用光电隔离,不仅实现了电气上的完全隔离,也提高了系统的抗干扰性。

桂媛¹ 李森² 任志刚¹ 刘若溪¹ 任健聪¹ 段大鹏 / 1. 国网北京市电力公司北京电力科学研究院 2. 国网北京市电力公司城区供电公司

0 引言



桂媛/工程师

随着电力电缆在电力系统中的广泛应用,电缆故障也显著增加。电缆实际运行故障概率比架空线路小得多,但随着电缆绝缘的老化,及其容易发生击穿事故,且大都是永久性故障。架空线路的故障较容易定位,而电缆线路故障的不可观测性等特点决定了电缆线路故障定位的复杂性。因此当电缆发生故障后,如何快速、准确的对故障位置定位,减少故障修复费用及停电损失,成为电力工程领域与研究界日益关注的问题。

目前,工程实际应用的故障定位主要有行波法和阻抗法,国内外理论研究方面也发表了不少有关电缆故障定位的文章。行波法由于其不受过渡电阻和故障类型的影响,理论上精度较高,但其波形的识别一直是电缆故障测试人员的难题,要求相关从业人员具有熟练的测

试技术和丰富的实践经验。阻抗法在过渡电阻较大时会影响其精度,且需要电缆长度的数据。本研究在传统的电桥法基础上进行改进,提高电桥电压,采用多抽头、高精度数字电位器,自动平衡电桥,大大减少了故障定位时间。

1 定位原理

本文在传统电桥法的基础上研制了数字式电缆绝缘故障自动定位仪。具体方法为将故障相与另一无故障相在对端短接组成电桥的两个臂,在测量端外接2个电阻组成电桥的另两个桥臂,给电桥两端施加直流电压并调节电桥使之平衡。

图1为测量电缆长度的原理图,图6为其等效电路图。根据测量电桥两端的电压值是否为零,来滑动数字电位器使得电桥平衡

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_4}{r_5} \quad (1)$$

式中 r_1, r_2 为数字电位器桥臂电阻; r_4 为定值电阻, r_5 为2倍的电缆芯线阻值;可得

$$r_4 = \frac{r_1 r_5}{r_2} \quad (2)$$

R_L 与电缆长度 L 的关系为:

$$L = R_L \cdot S \cdot \sigma \quad (3)$$

式中 S 为电缆的截面积,单位为 mm^2 ; σ 为电缆导电系数。 20°C 的铜芯电缆的导电系数为 $57.00\text{m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$,铝芯电缆的导电系数为 $33.9\text{m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$ 。

$$R_L = \frac{r_4}{2} \text{ 可得出 } L = \frac{r_1 r_5 \cdot S \cdot \sigma}{2 r_2} \quad (4)$$

图2是测量电缆绝缘故障的原理图,图7是其等效原理图(图7中 R 代表数字电

关键词/Keywords

电缆故障测距·

电桥法·

自动平衡电桥·

数字电位器·

恒流检测·

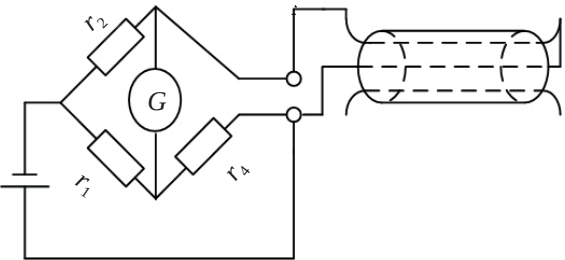


图1 测量电缆长度的原理图

位器， $R=R_1+R_2$ ，图中的 r_3 和 r_6 分别为 R_{2L-LX} ， R_{LX} 。
当电桥平衡时：有 $\frac{R_2}{R_1} = \frac{r_6}{r_3} = \frac{2L-L_X}{L_X}$ ，因为电缆芯

线电阻和电缆芯线长度成正比，所以得到故障距离： $L_X = \frac{2R_1}{R_1+R_2} L = \frac{2R_1}{R_1+R_2} \frac{r_1 r_3 \cdot S \cdot \sigma}{2r_2}$ (5)，图7中 R_g 为绝缘阻值。

2 系统设计

整个系统主要包括高压恒流源模块、电桥检零电路、恒流控制电路等。通过干簧管来切换高低压两个电桥，通过单片机来控制数字电位器达到电桥的自动平衡，检测电桥两端的差动信号是否为零。该定位仪系统的总体方案图如图3所示。

2.1 高压恒流源模块

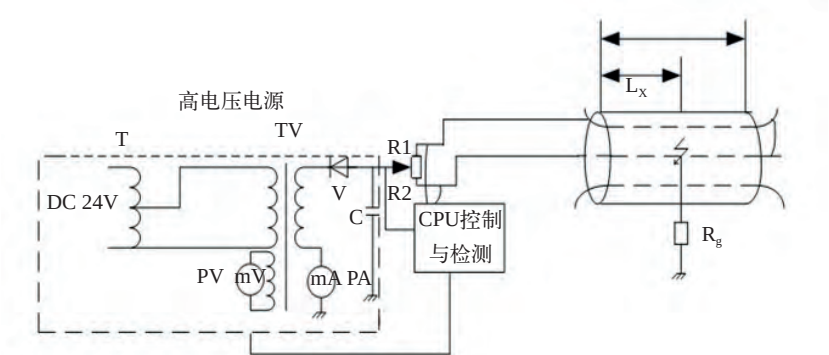


图2 测量电缆绝缘故障的原理图

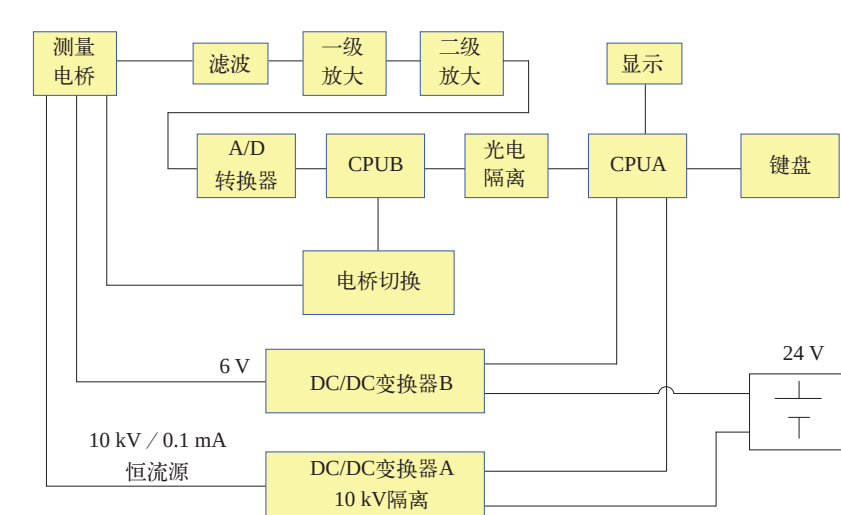


图3 系统整体方案

定位仪的高压直流电源采用了可调式直流线性稳压电源和高频逆变器相组合的设计原理。高频高压逆变器经正或负极性倍压整流后输出，同

时将输出电压送至前级直流线性稳压电源的采样电路。
高频高压逆变器把24 V的直流电逆变、升压

变成高频高压的交流信号，电压幅度放大30倍左右，电压变为700 V左右；其次，通过倍压整流电路进一步升压输出，倍压整流电路把电压升高15倍即10 kV左右。

2.2 恒流控制电路的设计

为了提高测量精度，保证流过全电桥的电流维持在0.1 mA，需要在电路中串联一个小阻值采样电阻，将电路中电流采样得到的电压信号与设定电压进行比较，其中采样电压反应了电路回路的电流，即图4中的基准电压；设定电压反应的是电路回路中的电流的目标值，其差值决定了误差放大器输出电压的大小，误差放大器的输出电压与锯齿波比较从而得到脉宽可调的脉冲，脉冲的宽度由误差放大器的输出电压决定，从而使得开关电源的输出电流达到稳定值。其脉宽调制原理图如图5所示。

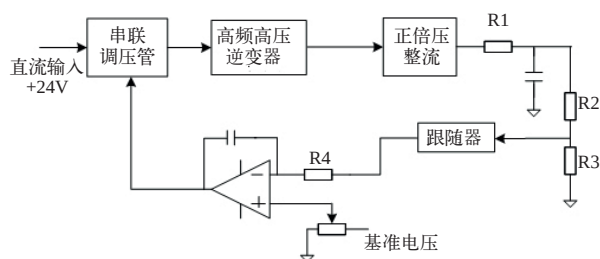


图4 高压直流源原理

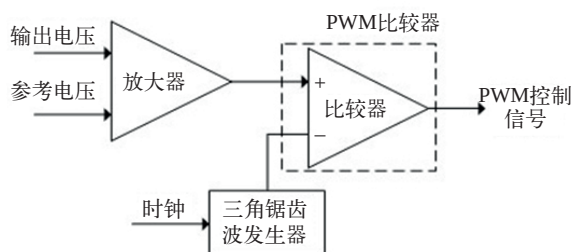


图5 脉宽调制原理

2.3 电桥检零电路的设计

电桥平衡是该系统正常工作的核心，因此如何快速、精确的调节电桥平衡是本文的重要环节。针对传统的机械电位器的手动调节误差大、费时等缺点，采用单片机自动控制数字电位器max5481，平衡电桥。其检零电路如下图6所示。

电桥的输出信号为差动信号，将差动信号转为成单端信号并放大，采用AD公司的低功耗、低漂移的放大器AD620。电桥在调节中若有较小的偏差，经过AD620的放大之后仍然较小，对于这种小信号如果直接送至A/D转换，精度较低，为此在对电桥输出信号做出进一步放大；另一方面，电桥输出信号经过AD620放大之后是一个双极性的信号，为了后续A/D转换方便，使负信号转换为正信号，因此有LM358组成的信号处理电路，其功能是一方面用于放大，另一方面将AD620的输出的负信号变换为正信号，以便A/D转换。通过

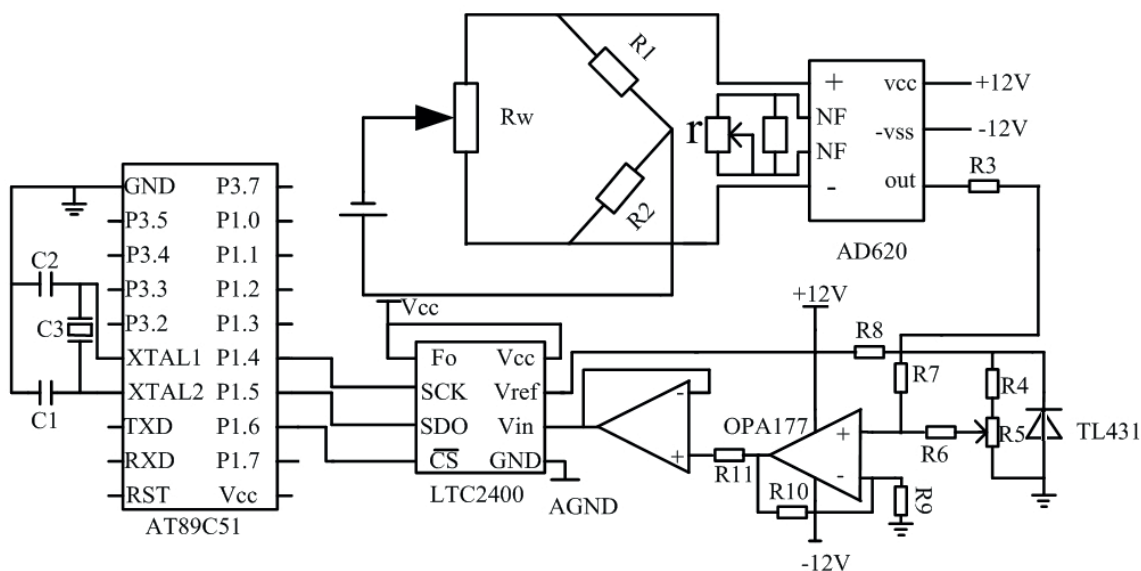


图6 电桥检零电路

LTC2400A/D转换后，由单片机进行处理和分析实现自动调零。

3 系统的电路原理图

系统的电路原理图如图7所示。
本装置涉及测量电缆长度电桥和电缆绝缘故障

距离电桥两个电桥，通过切换电桥来完成电缆绝缘故障定位。图中4为连接在数字电位器3两固定端的测试电桥两端电压的检测信号处理电路，图中5为电流采集电路包括连接高电压输出的取样电阻和依次串联的放大电路以及与放大电路相连的跟随电路。

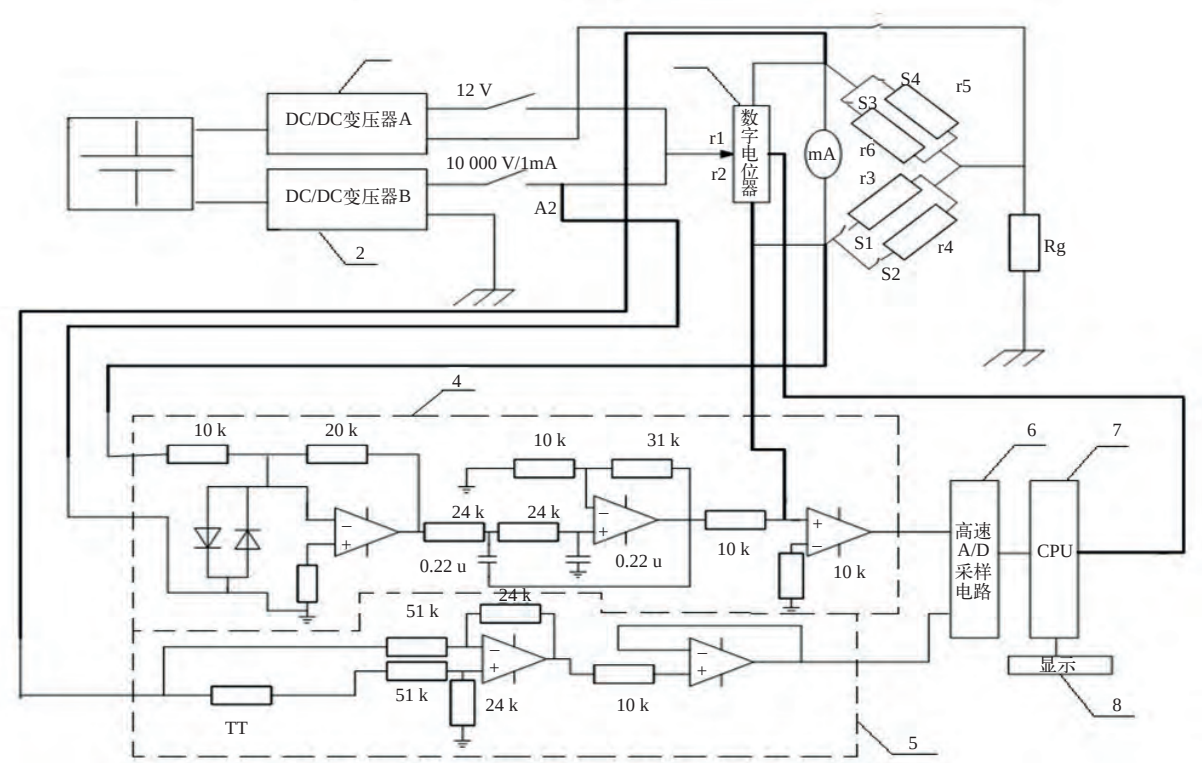


图7 系统的电路原理图

测量电缆长度的电桥：开关A1闭合，电桥桥臂相当于S2和S4闭合，此时电桥桥臂电阻为 r_1 、 r_2 、 r_4 、 r_5 ，等效电路如图8（其中 r 代表滑动电位器， $r=r_1+r_2$ ， r_1 、 r_2 为数字电位器桥臂电阻），电桥的平衡是通过测量电桥两端的电压值是否为零来滑动数字电位器，使得电桥平衡，此时读出的数字电位器的两电阻为 r_1 和 r_2 ，当CPU测出的电缆长度后，存储起来，以供电缆绝缘故障定位之需。

测量电缆绝缘故障电桥：断开A1、S7，闭合开关A2，此时为测量电缆绝缘故障的电桥，该电桥桥臂电阻相当于断开S2，S4，闭合S1，S3，其等效电路图如图9所示。

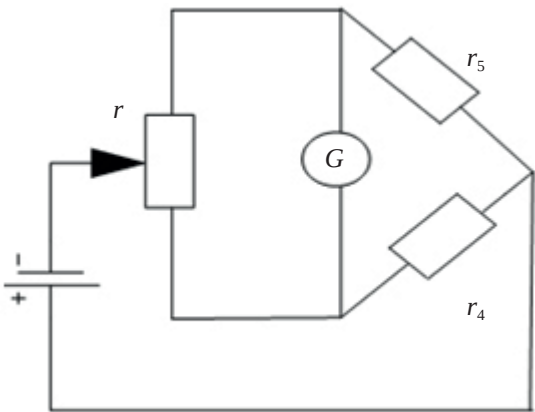


图8 测量电缆长度电桥的等效电路图

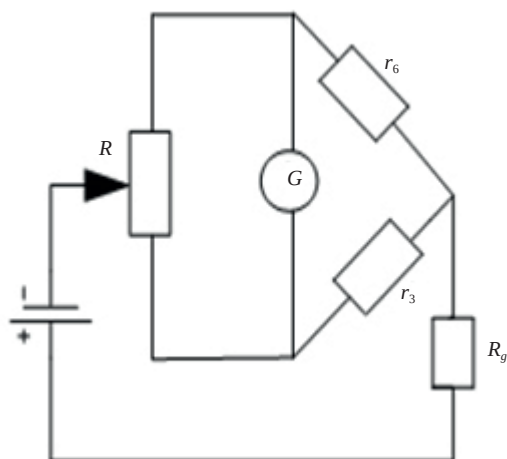


图9 测量电缆绝缘故障距离电桥的等效电路

4 结束语

本文介绍了一种电力电缆主绝缘故障定位系统设计。本系统基于电桥原理，集测量电缆长度电桥与绝缘故障定位电桥于一体，根据电缆芯线阻值与其长度成正比的关系，平衡电桥，实现对电缆绝缘故障的定位。本文采用单片机控制高精度数字电位器来自动平衡电桥，解决了传统电桥平衡耗时长、误差大等问题，提高了绝缘故障定位的准确度。

参考文献

- [1] 杨明,卢坤.不平衡电桥的自动平衡和测量[J].电子质量 2004(2).
- [2] 洪滨,李明.高压电桥法探测电力电缆故障实测案例分析[J].电线电缆 2007(3).
- [3] 容瑞章.高压电桥在电缆故障定位中的应用[J].广东科技.2008(22).
- [4] 何立新.利用高压电桥法探测电力电缆故障方法[J].煤.2011(8).
- [5] 王永红,陈庆国,魏新芳.采用高压电桥法对电缆击穿点定位[J].电线电缆.2006[4].
- [6] 张志刚.智能电缆故障检测系统的研究:[上海交通大学博士后学位论文].上海:上海交通大学,2002.
- [7] 李锡瑞.基于数字电位器MAX5481的原理及其应用[J].数字技术与应用.2009(12).
- [8] 廖玉祥,罗华,李扬.基于改进电桥法的10KV电缆高阻接地故障点预定位研究[J].电工技术.2007(10).

(收稿日期: 2015-5-21) EA

作者简介

桂媛(1988年-),女,硕士,助理工程师,主要研究方向为电气设备故障分析、电力系统分析与控制。