

±500 kV 直流输电线路暂态故障监测装置的设计与应用

魏旭¹, 谢天喜², 陶风波², 王铭民¹, 周志成²

(1.江苏省电力公司,江苏南京 210024;2.江苏省电力公司电力科学研究院,江苏南京 211103)

摘要:高压直流输电系统因暂态过程导致故障或停运时,目前所采用的录波仪只能记录极线电压和电流,无法提供相关的高频故障波形信息以实现故障的快速识别,不利于迅速排除故障和恢复送电。为了监测直流输电线路上的高频暂态故障行波和雷电侵入波,文中研制了可直接安装于±500 kV 直流导线上的暂态故障监测装置,设计了适用于直流线路的新型供电系统、高频传感器、数据采集与传输单元等,并进行了现场应用,监测到的雷电波形数据与雷电定位系统进行对比后验证了装置的有效性和可靠性,可为直流输电系统暂态故障的监测、识别和复现提供技术手段。

关键词:高压直流;线路;暂态故障监测;行波;罗氏线圈

中图分类号:TM866

文献标志码:A

文章编号:1009-0665(2014)06-0023-03

高压直流输电系统具有输送距离远、容量大、损耗低、控制灵活迅速等优点,担负着电能传输的繁重任务。由于高压直流输电系统换流站设备种类繁多、主回路和控制保护系统结构复杂,易因设备绝缘承受暂态过电压的威胁而导致直流系统故障或停运,严重威胁区域电网的安全运行。近几年,全国直流输电工程运行中,因暂态过程引起的单极故障及双极闭锁每年都有发生,造成了巨大的社会经济损失^[1-3]。

目前,高压直流输电系统发生故障后,录波仪所监测到的极线电压和电流波形是进行故障判断的重要依据,但录波仪无法监测故障过程中的高频电流信息,导致重要故障信息的遗漏,不利于快速排除分析故障原因及恢复送电。

1 监测装置结构及功能模块设计

监测装置构成如图1所示。其主要功能模块包括供电系统、高频传感器、数据采集系统、数据处理与传输系统。监测装置工作流程如图2所示。当变电站正常运行时,为了最大程度减少电能的损耗,监测装置处于休眠状态;一旦有暂态电流经过或雷电波入侵变电站时,监测装置就会启动,采集相应的数据,将采集的数据储存到采集单元,随后通过GPRS移动网络传送到后台数据处理中心进行处理和显示。

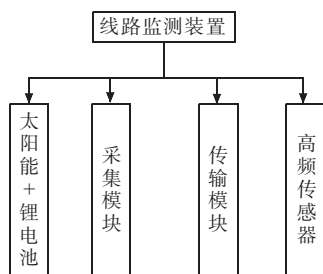


图1 直流线路监测装置结构框架示意图

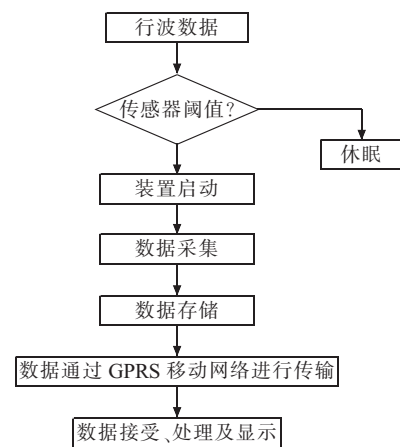


图2 监测装置工作流程

1.1 电源系统设计

目前,交流输电线路监测装置主要采用电磁耦合取电技术,然而高压直流输电线路导线中流过的直流电不产生交变的电磁场,因而该技术无法应用于直流输电线路在线监测设备^[4]。

本文所设计的直流线路监测装置采用太阳能电池加锂电池供电的设计方案,其设计目标:在白天太阳能电池板直接给装置供电,而且在阳光最充足的时候给储能电池充电;在夜间或阳光不充足的情况下,当电池板输出功率接近0时,电池就可以给系统供电。供电系统功能模块结构框图如图3所示。

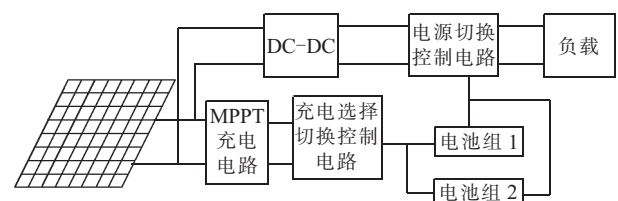


图3 太阳能供电系统结构框图

(1) 太阳能电池板。根据太阳光的强度,太阳能电池板的供电策略分为3种方式:①阳光非常充足,太

太阳能电池板输出能量可以满足对负载供电及对其中一块电池充电(充电电流可调),此时电源板选择给能量少的锂电池充电及DC-DC给负载供电;②阳光不是很充足,太阳能电池板输出能量只能对负载供电,不能满足同时为电池充电,此时电源板选择DC-DC对负载供电;③阳光很弱,太阳能电池板输出电流很微弱,不能带载,此时电源板为能量少的锂电池充电,能量多的电池为负载供电,关闭DC-DC。

(2) 最大峰值功率跟踪(MPPT)模块。本系统方案采用Linear Technology公司生产的锂电池充电芯片,具有太阳能电源跟踪功能的单片压降型电池充电器,该器件运用了输入电压调节环路,负责控制充电电流以将输入电压保持在编程设定的电平上。当由单块太阳能电池板供电时,输入调节环路强制电池板以峰值输出功率运行。

(3) DC-DC转换模块。该模块能使太阳能电池板工作时输出电压18V转换为负载工作时的电压5V。本系统设计方案采用的DC-DC模块内含固定频率振荡器(52kHz)和基准稳压器(1.23V),并具有完善的保护电路,包括电流限制及热关断电路等,利用该器件只需极少的外围器件便可以构成高效稳压的电路。

(4) 充电选择切换控制电路。该电路所实现的功能为根据锂电池组电量不同选择电量较低的电池组为其充电。本系统设计方案的充电选择控制电路采用MCU驱动继电器来实现,充电时由充电电路根据太阳能电池板输出功率大小自动设定电流值。

(5) 电源切换控制电路。该电路所实现的功能为根据DC-DC、电池组1和电池组2的电压大小选择哪一路为负载供电。在本系统应用中,DC-DC的电压值设定为5V,电池组电压为3.6~4.2V,由于DC-DC电压值高于电池组电压,因此在工作时优先选用DC-DC为负载供电,当太阳能电池板输出功率较弱时(例如阴天或夜晚)DC-DC输出电压趋近于0V,此时切换至能量较高的电池组为负载供电,能量的高低由电池电压来判定。

1.2 高频传感器设计

当前用于暂态电流行波监测的传感器大多基于罗氏线圈,如空心电流互感器、PCB式行波传感器等。罗氏线圈是一个均匀缠绕在非铁磁性材料上的环形线圈,直接套在被测量的导体上来测量电流,输出信号是电流对时间的微分。通过一个对输出的电压信号进行积分的电路,就可以真实还原输入电流。该线圈具有电流可实时测量、响应速度快、不会饱和、几乎没有相位误差的特点,故其可应用于雷电信号采集、继电保护、可控硅整流、变频调速等大电流的场合^[5]。当电流通过线圈轴线时,根据电磁感应定律,在线圈包围的轴线空

间出现变化的磁场,由安培环路定律可得^[6]:

$$\oint H \cdot dl = I \quad (1)$$

根据磁场强度 $B = \mu H$, 感应电压 $E = N \frac{d\Phi}{dt}$, 磁通 $\Phi = B \cdot S$, 得:

$$E(t) = N \frac{d(BS)}{dt} = \frac{MdI(t)}{dt} \quad (2)$$

当检测线圈为环形时,互感系数 M 的值为 $M = n\mu S$, 线圈的自感 $L = n^2 \mu SL$ 。

式(1,2)中: H 为线圈内部的磁场强度; l 为线圈的闭合回路; I 为穿过线圈的闭合面积的电流; μ 为磁导率; N 为线圈匝数; n 为线圈单位长度的匝数; S 为垂直于线圈的面积。

绕制线圈时采用回线以便消除外界磁场的干扰,将细的漆包线均匀密绕在环型绝缘骨架上,以减少匝间电容对测量的影响。罗氏线圈由于采用非磁性的线圈芯,没有非线性饱和效应,因而测量范围从数安培到数百千安的电流,最小值和最大值主要取决于测量的电子元件。其允许隔离的电流测量,并具有较宽的带宽,最大可达10MHz,具有良好的线性特性,可认为是理想的电流传感器。

1.3 数据采集与传输系统设计

数据采集系统由多路开关、积分电路、A/D转换器、先进先出(FIFO)存储器和DSP控制器顺次连接,如图4所示。其中比较电路同时接收A/D转换和控制器的输出,并将结果输给控制器,多路开关、A/D转换器、FIFO存储器都由控制器协调工作。

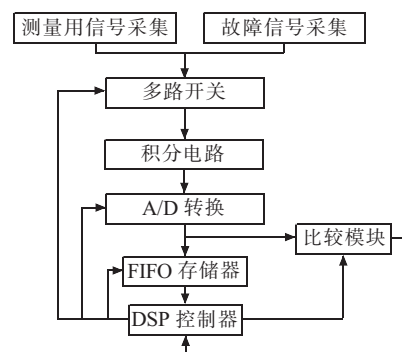


图4 数据采集单元框图

为了保证通讯的可靠性,本监测系统采用的GPRS公共网络进行数据传输。数据通讯单元具备双向数据通讯功能,当现场监测装置监测到输电线路或者变电站母线出现幅值较大的行波电流时,可以将记录的数据通过通讯模块上传至上位机数据库,同时上位机也可以下传命令,实现参数设置功能。

2 监测装置的试验测试

据上述设计思想,并将其与±500kV线路间隔棒进行一体化融合设计,制作样机后进行行波电流监测

试验。测试过程中模拟发生行波电流,采用样机进行监测,通过分析监测到的波形和幅值评价监测装置的准确度。其测试环境如图 5 所示,利用升压器、整流硅、储能电容、球隙、分流器组成冲击电流发生器,产生峰值为 5000 A 的 2.6/40 μs 波形进行冲击电流试验,分流器作为标准测量单元。

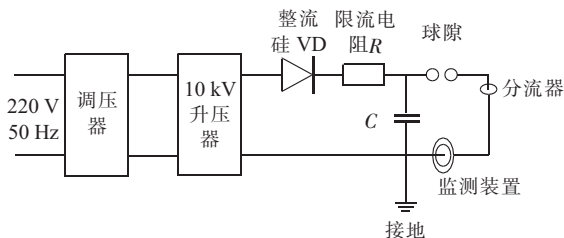


图 5 试验回路原理图

监测装置采样频率为 2 MHz,采样时长为 800 μs ,监测结果如图 6 所示。监测到的波形峰值为 4961 A,波头时间为 2.6 μs ,波尾时间为 40 μs ,可见该监测装置测量准确度较高。

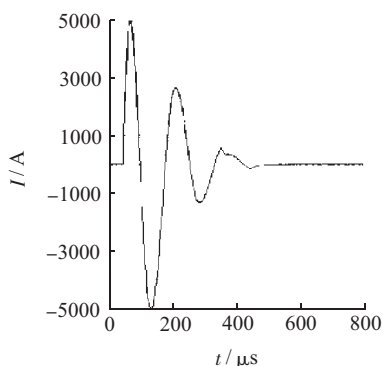


图 6 冲击电流监测结果

3 监测装置的现场应用

将样机安装于某±500 kV 换流站附近 2 km 的输电线路,如图 7 所示。其中高频传感器安装于分裂子导线上,太阳能板安装于间隔棒框架上并展开,数据采集、处理、传输单元安装于密封金属盒内并嵌入间隔棒框架中。该装置运行半年后,共监测到了 17 次雷电侵入波,其典型波形如图 8 所示,脉冲宽度范围分布在 10~25 μs ,行波电流幅值位于 150~1000 A。波形记录时间与雷电定位系统所记录的时间吻合。

5 结束语

(1) 设计的太阳能加锂电池的供电系统控制策略合理,参数选取适用,可以长期可靠地为暂态故障监测装置供应电能。

(2) 监测装置试验测试结果准确度高,运行性能稳定,所监测到的雷电流数据与雷电定位系统记录

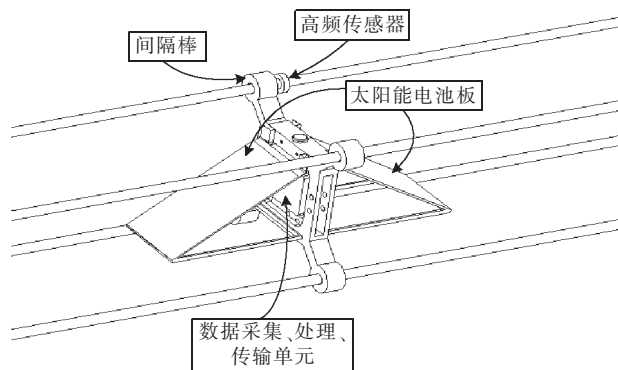


图 7 测装置安装示意图

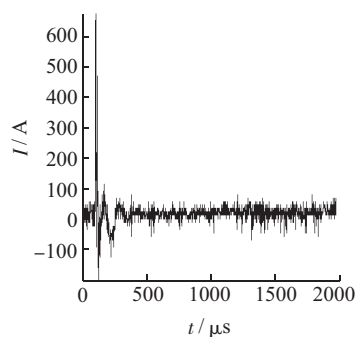


图 8 型雷电侵入波波波形

的时间、雷击杆塔位置吻合,验证了监测装置的有效性和可靠性。

参考文献:

- [1] 黎小林,许树楷.中海油文昌柔性直流输电系统暂态故障仿真分析[J].南方电网技术,2011,05(4):10-14.
- [2] 吕鹏飞,王明新,徐海军.三广直流鹅城换流站换相失败原因分析[J].继电器,2005,33(18):75-78.
- [3] 刘臣宾,卢宇,邵震霞,等.±500 kV 葛南与荆沪同塔双回直流系统特性仿真研究[J].江苏电机工程,2011,30(4):1-4.
- [4] 韩冰,赵飏,张凯,等.电力系统暂态过电压在线监测装置的应用分析[J].黑龙江电力,2009,31(3):197-199.
- [5] 楚湘辉.新型行波传感器及其在电网故障行波定位中应用[D].长沙:长沙理工大学,2009.
- [6] 司小平,乐丽琴,赵国生.罗氏线圈电子式电流互感器的设计[J].电子设计工程,2014,21(21):144-147.

作者简介:

魏旭(1974),男,江苏连云港人,高级工程师,从事高压技术研究、输变电设备运行维护管理工作;

谢天喜(1983),男,湖北天门人,博士,从事电力设备结构优化及电力系统过电压研究工作;

王铭民(1974),男,江苏扬州人,高级工程师,从事电网运行维护检修技术研究及管理工作;

陶风波(1982),男,江苏常州人,博士,从事电力系统过电压及脉冲功率研究工作;

周志成(1977),男,湖南株洲人,高级工程师,从事电力系统过电压及输电线路运行维护方面研究工作。

18%;当夹角为 1° 时,计算误差达到41%。可见要想取得满意的计算精度,其前提是工况变化前后电压的相角差要尽可能的小。由电力系统分析的理论可知,上述不同工况下电压间的夹角大小与母线馈出的有功功率变化量成正比、与母线电压成反比。

在上述示例中,电容器投入前后,母线馈出的有功功率分别为15.22 MW和15 MW,变化率仅为1.445%;同样电容器切除前后,母线馈出的有功功率分别均为17.75 MW,几乎没有变化,故结果具有良好的计算精度,符合工程实际。

4 结束语

利用端口等效原理对母线的系统侧进行等价处理,在系统阻抗 $Z_{XT} \ll$ 负载阻抗 Z_L 的条件下,对不同负载工况引起的母线电压变化做了近似计算,并给出了母线馈出的功率变化量、母线电压变化率以及母线的短路容量这三者之间的关系。结合实际的运行数据,并对照正式发布的电网年度运行方式文件,验证了算法的正确性和有效性,最后分析了可能影响算法精度的2个因素,并给出了相关结论。实时掌握母线的短路容量信息可以为实现变电站母线电压质量的精细化控制、配电网的无功优化配置以及继电保护整定计算提供了可靠的依据,且具有十分重要的实践价值。

A Method for Fast Calculation of Operating Bus Short-circuit Capacity

TANG Jianqing

(Xuzhou Power Supply Company, Xuzhou 221005, China)

Abstract: Estimating short circuit capacity of bus is important for evaluating system robustness and is essence to setting and coordinating relaying protections. The short circuit capacity calculation for operating bus is not convenient. In this paper, the Thevenin's theory is applied to construct a two-port network for operating bus with different loading conditions. Then, the relationships among power increment, voltage regulation and short circuit capacity is obtained. Considering power increment and voltage change rate are easy to measure, the short circuit capacity calculation for operating bus can be obtained.

Key words: thevenin's equivalent; loading operation; power angle difference; short circuit capacity; estimated on line

(上接第25页)

Design and Application of Transient Fault Monitoring Device for ± 500 kV HVDC Transimission Lines

WEI Xu¹, XIE Tianxi², WANG Mingmin¹, TAO Fengbo², ZHOU Zhicheng²

(1. Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024, China;

2. Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing, 211103, China)

Abstract: When HVDC transmission system has a system failure or outage because of equipment insulation withstand transient overvoltage threat, the recorder in nowadays can only record the pole line voltage and current, it can't provide the high frequency fault waveform information related to identify the fault in a short time, so the time of trouble shooting and restoring power supply will be delayed. In order to monitor the transient traveling wave and lighting invasion wave through the HVDC transmission line, this paper designed a transient fault monitoring device for ± 500 kV DC transmission line, including suitable new power supply system, the high frequency sensor, data collecting and transmission unit. Based on the design, the prototype of the device is used and the lighting waveform data is monitored and showed its validity and reliability. This paper provides technical means to monitor, identify and reproduce a transient fault of HVDC transmission system.

Key words: HVDC; transimission line; transient fault monitoring; traveling wave; rogowski coil

参考文献:

- [1] 夏刚. 基于母线短路容量的状态脆弱性评估建模与仿真分析[J]. 陕西电力, 2013(2): 18-22, 27.
- [2] 覃芸, 王延伟, 徐箭. 基于短路容量的电压稳定裕度指标在湖北电网中的应用分析[J]. 广东电力, 2013, 26(2): 10-15.
- [3] 邓佳平, 孙元章, 徐箭. 一种考虑母线短路容量的电压稳定解析方法[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(8): 15-19, 38.
- [4] 杨冬, 刘玉田, 牛新生. 电网结构对短路电流水平及受电能力的影响分析[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(22): 62-67.
- [5] 潘睿, 刘俊勇, 郭晓鸣, 等. 基于灵敏度特征决策的GRNN短路容量智能辨识[J]. 四川电力技术, 2010, 33(6): 1-5, 13.
- [6] 潘睿, 刘俊勇, 倪雅琦, 等. 基于负荷预测及广义回归神经网络的短路电流超短期预测[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(18): 94-99.
- [7] 武云生, 胡波, 朱敏. 利用负荷干扰测算铜川、耀县变电所母线短路容量的试验研究[J]. 西北电力技术, 1996(2): 1-10.
- [8] 万秋兰, 丁涛, 王莹, 等. 薄弱电压节点的在线辨识[J]. 电网技术, 2012, 36(3): 156-161.
- [9] 王漪, 柳焯. 基于戴维南等值的系统参数跟踪估计[J]. 电网技术, 2000, 24(11): 16-24.
- [10] 中国电力企业联合会. GB 50227—2008 并联电容器装置设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2009: 59.
- [11] GB/T 14285—2006, 继电保护和安全自动装置技术标准[S].

作者简介:

唐建清(1966), 男, 江苏常熟人, 高级工程师, 从事电力系统规划及管理工作。