

弧光保护通道自检技术的应用研究

王杰,侯炜,陈俊,牛洪海

(南京南瑞继保电气有限公司,江苏南京 211102)

摘要:阐述了中低压开关柜弧光保护通道自检技术的必要性。介绍了通过叠加光脉冲实现弧光通道自检的原理和方法。理论分析递归中值滤波对光脉冲的影响消除,以及光脉冲对背景光计算的误差估计。试验表明,在保证电弧光保护装置不误动的情况下,该方法能有效地对弧光通道进行实时自检,从而提高弧光保护装置运行的可靠性。

关键词:通道自检;递归中值滤波;光脉冲;误差估计;无源传感器

中图分类号:TM 72 文献标志码:A 文章编号:1003-6954(2022)01-0036-04

DOI:10.16527/j.issn.1003-6954.20220108

Application Research of Channel Self-Checking Technology in Arc Flash Relay

WANG Jie, HOU Wei, CHEN Jun, NIU Honghai

(NR Electric Co., Ltd., Nanjing 211102, Jiangsu, China)

Abstract: The necessity of self-checking technology for arc transmission channel in arc flash relay of medium-voltage and low-voltage switchgears is described. The principle and methods realizing self-checking for arc transmission channel by superimposing pulse light are introduced. It is theoretically analyzed that the recursive median filter algorithm can eliminate the influence of pulse light, and the deviation of pulse light to background light is also estimated. The test shows that in the premise of no misoperation of the device, the method can realize real-time self-checking for arc transmission channel, which can improve the reliability of arc flash relay.

Key words: channel self-checking; recursive median filter algorithm; pulse light; deviation estimation; passive arc sensor

0 引言

随着配电网的发展,中低压开关柜数量越来越多。6~35 kV 中低压开关柜作为中低压母线的载体,由于其空间狭小,发生故障时,往往伴随柜体燃弧、起火。若不能及时切除故障,弧光迅速蔓延会带来严重的经济和财产损失。传统的中低压开关柜一般无专门的保护,柜内发生故障时大多依靠带延时的变压器低压侧后备保护来切除故障,延时较长,设备损伤较大,恢复供电周期较长。弧光保护以发生故障时的弧光检测为主要依据,同时结合故障电流判据,可快速切除开关柜内短路故障。由于响应快,动作可靠,弧光保护在许多中低压开关柜得到使用^[1-2]。

弧光保护装置能否及时、快速地检测并切除故

障,很大程度上取决于弧光传感器性能的好坏^[3-5]。由于无源传感器在传感器损坏或者弧光传感器光纤断裂时,保护装置无法感知故障信号并及时发出告警信息,对装置的可靠运行带来隐患。所以有必要对传感器自检技术进行完善。

1 弧光传感器自检技术方案

1.1 弧光采集回路自检方案设计

弧光传感器一般安装在开关柜母线室和断路器室。无源式弧光传感器通过光敏物质采集弧光信号,并通过传输光纤将信号传输给保护装置,弧光信号采集如图1所示。由于传感器处于较封闭的环境,假如传感器损坏或传输光纤断裂,保护装置采集到的信号并未有大的变化,发生故障时,保护装置将不能采集到正确的弧光信号而导致装置拒动。

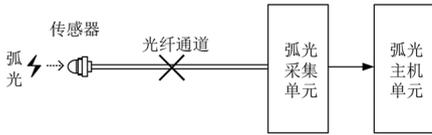


图1 弧光信号采集

为实现弧光传输通道实时自检,设计了基于分光原理的弧光采集回路自检方法,如图2所示。通过弧光采集单元实时发送幅值、脉宽均可调制的脉冲光,然后叠加在弧光传输通道中。脉冲光信号经传感器透镜反射后经弧光采集单元发送给主机单元。主机单元实时检索叠加在传感器采样信号中的脉冲光,并与预设的脉冲光特性参数比较从而判断弧光传输通道是否完好。

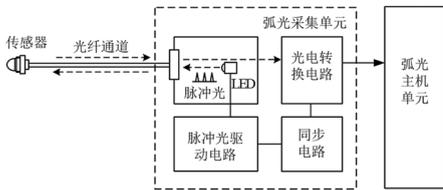


图2 弧光通道自检方案

LED 脉冲光发射光源在驱动电路驱动下,发出周期、脉宽均可调制的脉冲光。脉冲光经聚光透镜耦合在弧光传输光纤中。在弧光传感器玻璃球面内反射膜的作用下,脉冲光信号重新通过传输光纤返回至采集单元。主机单元接收到光信号后进行数据处理,如若能收到脉冲光源发出的光脉冲信号,则可说明光纤通道无损;反之,则说明传感器或光纤通道运行不正常,装置需及时发出报警信号提醒运行人员进行故障排查及检修。

弧光保护装置以是否接收到 LED 脉冲光源发出的光脉冲作为弧光通道是否正常工作的依据,所以光脉冲的检索是弧光通道自检技术的关键。弧光通道叠加脉冲光示意图如图3所示。

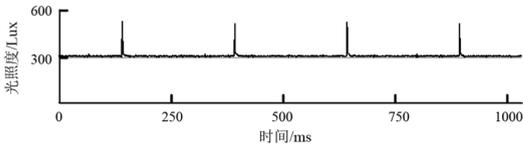


图3 弧光通道叠加脉冲光

为使计算值接近真实环境,将 T 时间内所有采样原始值求平均值计算得到背景光的计算公式为

$$L_{\text{base}}(n) = \frac{1}{k+1} \sum_{n-k}^n \{s_p(n)\} \quad (1)$$

式中: $s_p(n)$ 为弧光采集数据原值; $L_{\text{base}}(n)$ 为环境背景光强值。

由于光具有叠加性,装置在接收到 LED 光脉冲时,采样值根据脉冲信号强弱在背景光基础上有光

增量,根据光增量 ΔL 的大小可以判断是否接收到脉冲信号,即

$$\Delta L = s_c(n) - L_{\text{base}}(n) > \Delta L_{\text{set}} \quad (2)$$

式中: $s_c(n)$ 为滤波后的弧光采样值; ΔL_{set} 为设定的光增量值。

当实时采样值的光增量大于预先设定的增量值,即可认为接受到 LED 光源发出的光脉冲。假定第 1 次接收到脉冲信号时间记为 T_1 ,再次接收到脉冲信号时间记为 T_2 ,根据两次接收到脉冲信号的时间间隔 ΔT 与脉冲光源周期作比较,即可判断弧光通道是否完好。

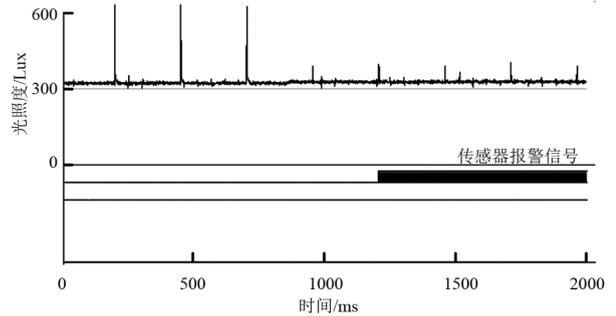


图4 弧光通道自检

图4为弧光通道自检示意。图中在 710 ms 时,人为剪短弧光传输光纤以模拟现场传输光纤损坏,弧光采集单元不能接受到返回的光脉冲信号,在 1210 ms 时,弧光传感器通道发出传感器异常报警信号,提示运检人员进行异常检修。

1.2 基于递归中值滤波算法的弧光信号处理

由于通道自检方案在弧光信号采集回路中人为叠加了幅值、脉宽均可调制的脉冲光,为防止脉冲光对保护装置的正常运行造成影响,需要在弧光采样信号参与逻辑运算之前将叠加的脉冲光滤除,从而保证弧光保护装置正常运行。下面使用递归中值滤波算法对弧光采样信号进行滤波^[6]。

采样序列为 $\{x(n)\} (n=1,2,3,\dots)$, 设中值窗长为 l (l 为奇数), 从中连续抽取 l 个数据: $\{x(i-k), x(i-k+1), \dots, x(i-1), x(i), x(i+1), \dots, x(i+k-1), x(i+k)\}$, 其中, $k=(l-1)/2$, $x(i)$ 为位于窗口中心的数据。

中值滤波可表示为

$$y(i) = M_{\text{edian}} \{x(i-k), x(i-k+1), \dots, x(i-1), x(i), x(i+1), \dots, x(i+k-1), x(i+k)\} \quad (3)$$

式中: M_{edian} 为中值滤波函数; $y(i)$ 为中值滤波结果。

将中值滤波的结果形成新的数列,并将该数列再次进行新的中值滤波,结果即为递归中值滤波,用公式表示为

$$y(i) = M_{\text{edian}} \{y(i-k), y(i-k+1), \dots, y(i-1), y(i), y(i+1), \dots, y(i+k-1), y(i+k)\} \quad (4)$$

递归中值滤波可以滤除脉冲宽度小于 $l/2$ 的脉冲干扰,且对强度较大的脉冲噪声有一定的去噪能力。

为使脉冲光源不造成弧光装置误动,需满足式(5)。

$$T_h \leq kT_s \quad (5)$$

式中: T_h 为 LED 光源发出的光脉冲脉宽; T_s 为弧光信号采样周期。

引入可靠系数 $\lambda (\lambda \leq 1)$, 即

$$T_h = \lambda k T_s \quad (6)$$

式(6)表明,只要光脉冲信号脉宽设定合理,弧光采样值在参与逻辑运算之前会通过中值滤波把光脉冲信号滤除,而不会对装置正常运行造成影响。

所设计的中值滤波窗长 $l=9$, 则 $k=4$ 。可靠系数 $\lambda=0.8$, 得到滤波前与滤波后的波形对比图如图 5 所示。

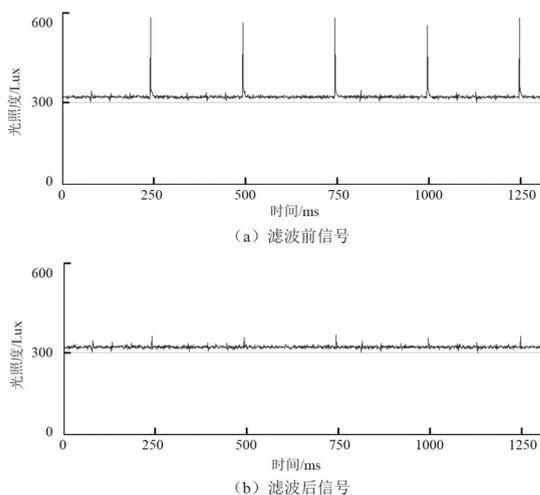


图 5 中值滤波前后波形对比

图 5 中,采样信号滤波前的尖峰为 LED 光源发出的光脉冲,经中值滤波后,脉冲信号被滤除,不会对弧光保护逻辑造成干扰。

1.3 脉冲光对环境背景光影响的误差估计

由于 LED 灯周期性地发射光脉冲,会对弧光保护装置采集到的背景光有所影响。设定光脉冲光强基于背景光的增量为 ΔL , 脉冲光周期为 T_w , 脉宽为 T_h , 弧光保护装置采样周期为 T_s , 假定每隔 T_w 计算一次背景光, 据式(5)可得光脉冲对背景光的影响偏差为 $\Delta L_{\text{base}} = \frac{n_1 \Delta L}{n}$, n_1 和 n 分别为 T_w 时刻内光脉冲信号采样个数和总采样个数。定义光脉冲的影响百分比 $\delta = \frac{\Delta L_{\text{base}}}{L_{\text{base}}} = \frac{n_1 \Delta L}{n L_{\text{base}}}$, 由于 $n_1 = \frac{T_h}{T_s}$ 和

$$n = \frac{T_w}{T_s}, \text{ 可得}$$

$$\delta = \frac{T_h \Delta L}{T_w L_{\text{base}}} \quad (7)$$

假定弧光传感器所处环境的背景光和光脉冲基于环境光的增量大致相等时,脉冲光对背景光的影响百分比为脉冲光脉宽和周期的比值。文中计算得到 δ 值为 0.024%, 可见,光脉冲信号对背景光的影响可忽略不计。

2 系统设计与实验

2.1 系统构成

弧光保护系统如图 6 所示,由弧光主机单元、弧光采集单元、弧光传感器以及光纤等组成^[7-8]。

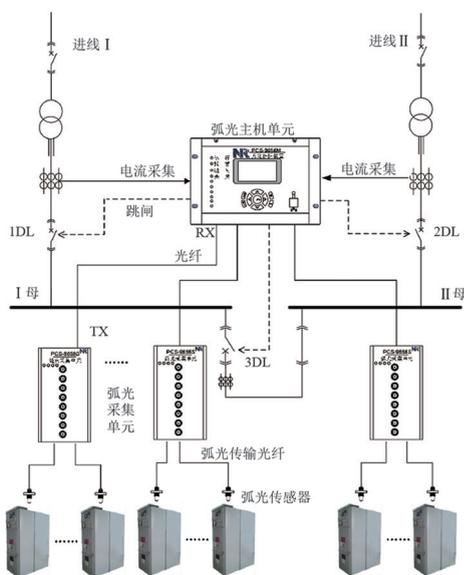


图 6 系统组成

弧光主机单元采集被保护母线的进线或分段电流。弧光传感器将采集到的弧光信号通过弧光传输光纤连接至弧光采集单元。弧光采集单元对光强信号进行采样,并将数据通过光纤传给主机单元。主机单元通过光强信号、电流信号进线逻辑判据选择跳开相应的开关。

2.2 工作原理

保护装置采用基于工频变化量原理的电气检测判据,当发生故障时,电流突变量大于设定门槛,电流判据满足,即

$$\Delta I_{\varphi\varphi} > K \Delta I_{\varphi\varphi\text{th}} + \Delta I_{\varphi\varphi\text{th}} \quad (8)$$

式中: $\Delta I_{\varphi\varphi}$ 为相电流变化量; $\Delta I_{\varphi\varphi\text{th}}$ 为浮动门槛,随着变化量输出增大而逐步自动提高; K 为比例系数,保证浮动门槛始终大于不平衡输出; $I_{\varphi\varphi\text{th}}$ 为固定门槛,

需躲过正常负荷电流波动值最大值。弧光保护逻辑如图7所示。

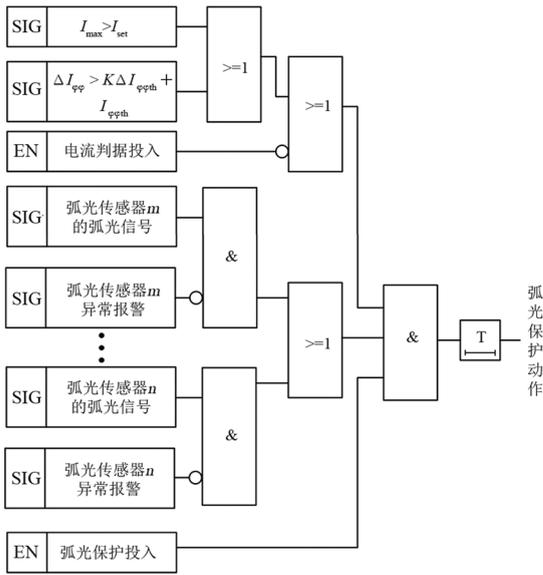


图7 弧光保护逻辑

2.3 实验结果

基于以上理论基础开发的弧光保护装置^[9-11],在模拟弧光故障时记录的波形如图8所示。

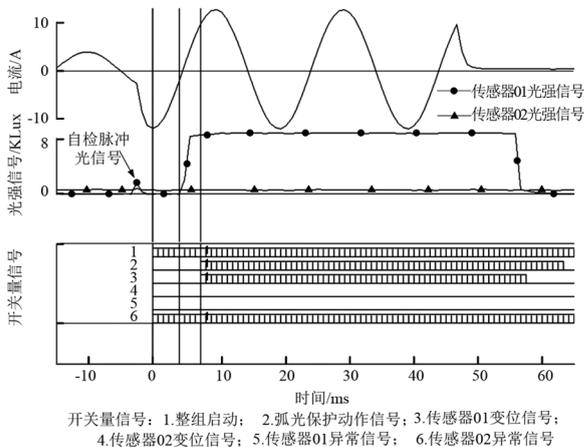


图8 故障录波

在图8中,0 ms时由于电流突变到达设定门槛,整组启动。4 ms时发生弧光故障,7 ms时弧光信号标志位变位,同时弧光保护动作。假定机构动作时间30~40 ms,可保证在50 ms内切除故障,有效防止弧光故障对人员和设备造成损伤。

模拟两路弧光信号:弧光传感器01可以接收到自检脉冲光,且故障时可以接收到弧光信号,该传感器异常信号为0;传感器02接收不到自检脉冲光,故障时也无法接收到弧光信号,故该传感器异常信号为1;发生故障的传感器异常时,不影响其他传感器正常工作。经实验,传感器02异常,传感器01正常,在采集到弧光信号时,依然可以正确动作。

3 结论

前面介绍了电弧光保护弧光传感器通道自检的原理和方法。该方法可消除因弧光传感器损坏而导致装置拒动的隐患,提高整个系统可靠运行的能力。基于所提通道自检技术的电弧光保护装置已在多个厂站投入使用,运行结果表明,该保护能为中低压开关柜提供有效、可靠的保护方案。

参考文献

- [1] 张喜玲,杨慧霞,蒋冠前. 弧光保护关键技术研究[J]. 电力系统保护与控制,2013,41(14):130-135.
- [2] 李立生,李建修,邵志敏,等. 基于光纤传感的电弧光保护技术在智能电网中的应用[J]. 低压电器,2012(20):11-14.
- [3] Marcia L Eblen, Tom A Short, Tom A Short. Medium-Voltage Arc Flash in Switchgear and Live-Front Transformers [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2016, 52(6):5280-5288.
- [4] S A Saleh, A S Aljankawey, R Errouissi. Phase-based Digital Protection for Arc Flash Faults [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2016, 52(3):2110-2121.
- [5] Jay Prigmore, John S Schaffer. Triggered Current Limiters—Their Arc Flash Mitigation and Damage Limitation Capabilities [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2017, 32(2):1114-1122.
- [6] 王寅,潘佩芳,孔凡坊,等. 基于递归中值滤波的暂态能量方向元件仿真分析[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(7):29-31,41.
- [7] 李从飞,陈凡,鲁雅斌,等. DPR360ARC弧光保护系统设计[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(12):125-128.
- [8] 万山景,王坚,张梓望. 电弧光保护系统配置方案探讨[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(16):99-103.
- [9] 张杰,马宏伟. 矿用高压开关柜的弧光监测与保护系统[J]. 电力系统保护与控制,2013,41(11):141-145.
- [10] 骆明峰,陈为,刘明明,等. 配电开关柜短路燃弧故障检测与保护装置[J]. 电器与能效管理技术,2015(7):21-24.
- [11] 薛瑞,高雄翔,卞连兵,等. 电弧光保护装置在煤矿高压开关柜中的应用[J]. 煤矿机电,2016(5):86-88.

作者简介:

王杰(1984),男,硕士,工程师,主要从事低压设备继电保护开发工作。

(收稿日期:2021-05-18)