

基于紫外检测的开关柜电弧在线检测装置

汪金刚¹, 林伟², 王志³, 李健³, 何为¹, 王平¹

(1. 重庆大学输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室, 重庆 400044; 2. 重庆电力科学试验研究院, 重庆 401123; 3. 重庆电力公司北碚供电局, 重庆 400700)

摘要: 研制了一种基于紫外法的开关柜电弧在线检测装置, 该装置通过检测柜中电弧中的“日盲”区紫外光, 达到对电弧的准确识别, 且具有动作时间快、灵敏度高、抗干扰能力强等优点。研究了紫外光功率法的测量原理, 给出了系统硬件各部分的组成以及原理, 在此基础上, 研究了系统的软件程序设计。该检测装置可单独用于开关柜, 也可为各种继电保护设备提供接口, 提高了开关柜的技术水平和安全指数。进行了空气间隙放电试验, 证明了该装置能够准确检测气体放电的紫外辐射功率, 更准确地检测到放电电弧。装置可应用于开关柜电弧检测, 能够有效地防止由电弧引起的意外事故的发生。

关键词: 紫外法; 电弧; 紫外光功率法; 开关柜; 在线检测

Online detecting device for switchgear arc based on ultraviolet detection

WANG Jin-gang¹, LIN Wei², WANG Zhi³, LI Jian³, HE Wei¹, WANG Ping¹

(1. State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2. Chongqing Electric Power Research Institute, Chongqing 401123, China; 3. Chongqing Beibei Electric Power Bureau, Chongqing 400700, China)

Abstract: An online detecting device for switchgear arc based on ultraviolet method is developed. The device can achieve an accurate identification of arc by detecting the ultraviolet light in the “solar-blind” area of the cabinet, and has many advantages such as fast action, high sensitivity and strong anti-interference ability, etc. The measuring principle of ultraviolet-power method is developed, the composition and the principle of the system hardware are presented, and the software program design of the system is developed on this basis. The detection device can be used in the switchgear individually, and also can provide interfaces for various relay protection equipment to improve the technical level and the safety index of the switchgear. The air-gap discharge test is carried out and it proves that the device can accurately detect the ultraviolet radiation power of the air discharge, and more accurately detect the discharge arc. The device can be used in the arc detection of the switchgear, and it can effectively prevent accidents caused by arc.

Key words: UV method; electric arc; UV optical power method; switchgear; online detecting

中图分类号: TM591 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2011)05-0128-06

0 引言

近年来, 由于电弧短路故障引起的开关柜设备被严重烧毁, 有的甚至发展成“火烧连营”的重大设备事故经常发生; 而主变压器由于遭受外部短路电流冲击损坏的事故也逐年增加, 这些配网事故处理不当甚至被扩大发展为输电网事故, 造成重大的经济损失, 已引起电力部门及业内专业人士的广泛关注。而这些事故大多是因为不能快速发现电弧故障或者没有装设专用快速母线保护延迟切除故障造

成的。随着我国电力工业的发展和电网负荷需求的提高, 要求电力系统在运行过程中保证发供电的安全性和稳定性, 为用户提供可靠的电力资源。

目前对电弧的检测方法很多。例如: 在开关柜不同单元内放置压力传感器系统^[1], 由压力波触发, 使给故障回路供电的断路器跳闸; 有的检测保护装置通过检测绝缘失效的早期信号^[2]; 此外, 还有一些通过检测声、光、压力、电流的组合信号的方法^[3-11]。上述检测方法, 大多比较复杂, 实现起来难度较大, 成本也较高, 这就导致上述方法没有能够大规模推广应用到工程实践中去。近年来, 国外开发出了弧光检测与保护系统, 如: 德国Moeller公

基金项目: 重庆市自然科学基金攻关项目(2074920070057)

司用于低压开关柜的故障电弧保护系统ARCON、ABB的ARC Guard System故障电弧保护系统、芬兰Vaasa公司的VAMP系统等。这些系统是基于检测电弧故障时发出的弧光以及过流双判据, 以提供快速而安全的母线保护, 这为限制电弧故障损坏提供了一种有效的解决方案。自上世纪90年代以来, 国外越来越多的电力和工业用户认识到电弧故障的危害, 在开关柜中采用了这些保护方案。但是这些系统复杂、价格高而影响了其推广使用^[12]。

由于高压开关的老化等因素, 引起高压开关的误动作会给电力系统的安全稳定运行带来影响, 而传统的对电力设备的预防维护又有人力花费较多且要安排停电作业等缺点^[13-14]。因此, 对高压开关柜绝缘状态的在线监测系统提出一种可行的方案势在必行。本文研制了一种基于“日盲”区紫外检测和紫外光功率法的开关柜电弧信号在线检测装置, 该装置具有抗干扰能力强、灵敏度高、费用低等特点。

1 紫外检测原理与紫外光功率测量法

1.1 紫外检测原理

电弧实质是气体放电的最终形式, 气体放电过程中伴随有光效应, 会辐射出紫外线。由电晕放电的光谱分析可知, 其波长大部分在280~400 nm的范围, 有小部分为230~280 nm^[14-16]。一般在电力系统中, 外加电压都比较高, 因此在电晕放电的光谱中, 紫外区的辐射强度总是较高, 可以通过检测“日盲”区紫外光来检测电弧放电。文献^[15-17]已经成功采用紫外脉冲法对绝缘子劣化检测和特高压放电检测进行了试验。因此, 可利用这一段太阳盲区, 采用特定的紫外线传感器, 使仪器工作在紫外波长190~280 nm之间, 而对其他频谱不敏感, 从而去除可见光源的干扰, 可以准确快速地发现电弧以及检测电弧的放电强度。

1.2 紫外光功率测量法的原理

对设备的放电信号采用测量其平均功率的方法达到对放电的检测, 称为紫外光功率法^[18] (UV Optical Power Method)。紫外光功率法要求传感器对信号有着线性的响应曲线, 可以如实地反应放电的情况。采用能线性反映入射光强度和波形的传感器, 对进入传感器光阴极的光线进行采集, 获得这部分光线的实时波形, 并将即时波形进行模数转换和数字积分处理获得数字化的平均功率, 也就是放电的平均能量。这个参数一方面是对紫外辐射波形的积分平均值, 能够表征单位时间内放电的强弱; 另一方面, 能够还原放电产生的紫外辐射特征, 为研究电晕放电的紫外辐射提供参考。紫外光功率的

测量将为高压在线监测以及运行维护提供很有价值的参照。紫外光功率测量法要求传感器在良好抗干扰能力的同时, 输出波形具有很好的线性度。以下对所研究装置测量结果进行数值推导。

光电效应第一定律认为, 当光源频率一定或光源频谱分布一定时, 饱和光电流 I_b 与阴极的光通量 P 有严格的正比关系: $P \propto I_b$ 。

放电源与光传感器距离远大于放电源大小, 放电发光源可认为是个点光源, 距离为 r , 面积为 S 的光阴极上的光通量为

$$P \propto \frac{S}{r^2} \quad (1)$$

而光阴极面积 S 是固定的, 那么有

$$I_b \propto \frac{1}{r^2} \quad (2)$$

在紫外光源的法线方向, 距离为 r 处的, 垂直于该法线的面元上的紫外辐照度 H 可用式(3)表示:

$$H = \frac{P_{\text{out}}}{S} = \frac{V_{\text{ref}} a}{256R\beta\gamma_\lambda S} \quad (3)$$

式(3)中, 仪器测量得到的积分值为 a , 这个量在电路和单片机程序中经过了调整处理放大了 β 倍。信号经基准为 V_{ref} , 比较后转换为8位数据, 分辨率为1/256, 传感器的光响应系数为 γ_λ , 滤光片的面积为 S 。

实际的测量在需要通过测量一定时间 t 的紫外辐照度 H , 再将此值进行积分得到放电能量再除以时间 T , 获得平均功率 \bar{P} , 得:

$$\bar{P} = \frac{1}{T} \int_0^T H S dt \quad (4)$$

根据点光源的辐照度计算公式, 得到光源的辐照度 J :

$$J = \frac{Hl^2}{\cos\theta} = \frac{V_{\text{ref}} r^2 a}{256R\beta\gamma_\lambda S \cos\theta} \quad (5)$$

式(5)中: r 为仪器离光源距离; θ 为光源发射方向与仪器受光面法线的夹角。 J 的值为 $Ka/\cos\theta$ (W), K 为常数。因此, 当距离 r 与角度固定后, 仪器测量 a 可以直接反映紫外辐射强度, 后面的试验数据可以直接采用 a 来反映其相对强度。

1.3 电弧判定方法

由前面公式推导可知, 紫外辐射平均功率与距离相关, 仪器检测到平均紫外辐射功率后, 根据该

平均放电功率的大小和光源与检测装置的距离通过试验来规定一个功率阈值, 用来作为开关柜的开关有没有电弧产生的判定条件。

2 在线检测装置的整体框图

装置的整体框图如图1所示。该检测装置的硬件设计以工作在“日盲”区的光电倍增管为检测传感器, 以C8051F120单片机为处理核心, 对传感器输出的信号通过前置放大和滤波处理, 然后进行高速AD转换, 并进行数字积分操作, 计算结果以容积图形式在液晶显示屏上显示或以串行标准方式发送到计算机上做进一步处理。当发现电弧时, 通过模拟或数字接口, 提供给继保设备接口。

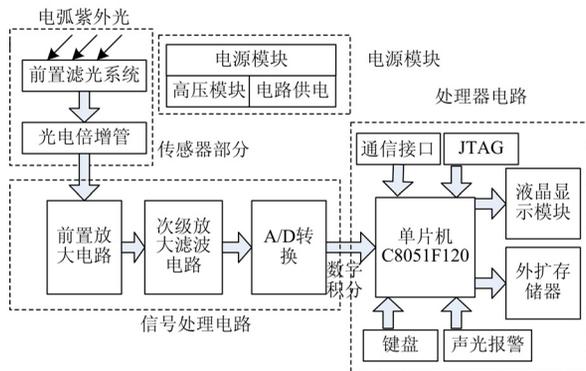


图1 装置整体结构图

Fig.1 Figure of apparatus's entirety

从硬件结构组成上, 电弧检测装置主要包括四个部分:

- 1) 传感器部分: 由前端滤光系统和光电倍增管组成, 滤光系统包括微波暗室和紫外滤光片, 光电倍增管需要高压驱动和电流电压转换电路;
- 2) 信号处理电路: 前置放大电路、信号滤波电路、信号调理电路和 AD 转换电路;
- 3) 处理器电路: 由单片机及其外围电路, 包括外接存储器, 液晶显示屏, 按键等组成;
- 4) 电源模块: 包括光电倍增管的高压驱动模块和信号处理电路所需的电源。

装置试验完成后, 进行挂网试验, 安装在江津电力局 10 kV 开关柜中, 采用金属环扣将装置扣在开关柜中间的一个横梁上, 正好可以对准柜中开关, 如图 2 中间, 放电电弧信号通过 RS485 总线传输到监控计算机。

3 在线检测装置的硬件设计

3.1 传感器部分的设计

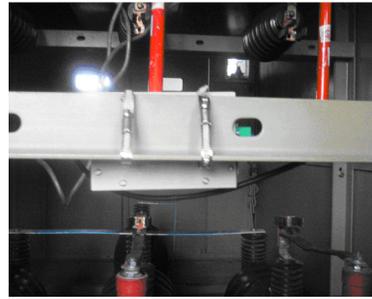


图 2 开关柜电弧监控安装图

Fig.2 Installation diagram of detecting switchgear arc

① 光电倍增管与驱动电路

光电倍增管 PMT (photomultiplier tube) 是一种建立在光电子发射效应、二次电子发射和电子光学理论基础上的, 把微弱入射光转换成光电子并获倍增的重要的真空光电发射器件^[15]。是一种基于外光电效应的光电探测器件, 具有极高的灵敏度与快速响应等特点, 是用于探测微弱光信号及快速脉冲弱光的一种重要的探测器件。其外观图如图 3 所示。

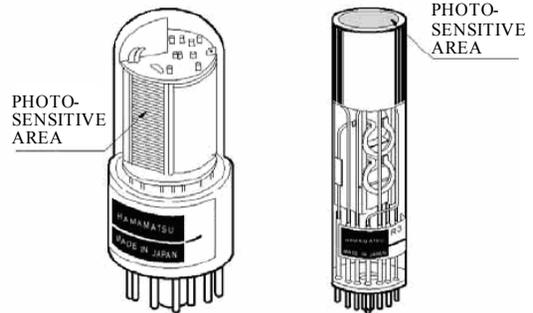


图 3 光电倍增管外观图

Fig.3 Appearance of PMT

装置采用的是日本滨松公司的“日盲”型光电倍增管R7154, 其响应波长为160~320 nm, 最大反应波长254 nm, 此时的量子效率30%。R7154为侧窗型光电倍增管, 从玻璃壳的侧面接收入射光, 阴极材料为Cs-Te, 侧窗面积24 mm×8 mm。内部有九级放大。图4为R7154的光谱响应曲线。

R7154需要直流负高压供电, 供电电压最大不超过-1 250 V。供电电压越大, 倍增极间电压越高, 对光电子的捕捉能力越强, 暗电流干扰也会越大。经过多次试验, 我们设定驱动电压为-850 V负高压, 此时虽然对光电子的捕捉能力有所下降, 但是信噪比较高。为了在灵敏度和干扰源的引入之间取得平衡, 将驱动电压定在-850 V左右, 传感器发挥最佳性能。光电倍增管驱动电路提供各倍增极的极间电压, 一般由包括一系列电阻的分压器来提供。

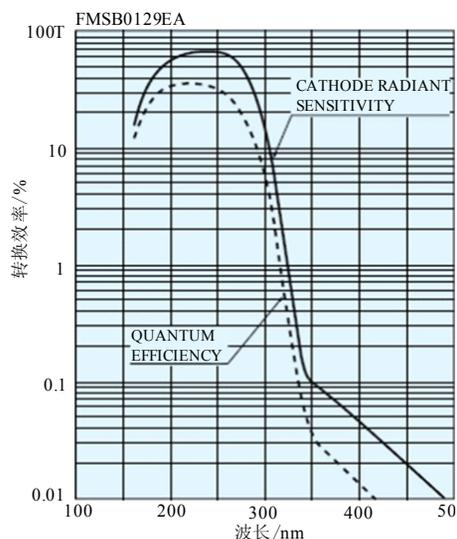


图4 R7154 光谱响应曲线

Fig.4 Spectral response curves of R7154

② 滤光系统的设计

为了保证接收到的紫外信号免受日光和其他因素的干扰,“日盲”型光电倍增管的使用是滤光的一个重要措施。而本文采用的紫外光电倍增管R7154波长响应范围为160~320 nm,有超过280 nm的部分,会受到日光中一部分紫外光的干扰,所以将PMT放置于暗室中,在前端加“日盲”紫外滤光片以去除这部分紫外辐射的干扰。

根据电弧放电的光谱辐射和环境干扰源的能量分布,本文选择了沈阳汇博公司的“太阳盲”滤光片,它是一种宽带干涉滤光片,在整个光通范围内的透光百分比 $T\%$ 为10%~20%,中心波长为254 nm,正好位于“日盲”区域,半波宽度20 nm。

3.2 信号处理电路的设计

1) 前置放大、滤波和信号调理电路

PMT输出的信号频率很高,达到10 MHz以上,并且需要滤除低频信号,普通低频放大器难以对信号进行有效处理,必须采用高频宽频带的运算放大器。信号处理电路采用OPA4350高速放大器件,OPA4350包含4个OPA350放大单元。

采用OPA4350组成了三级信号处理电路。第一级是前置放大电路,第二级是滤波电路,第三级是后置放大电路。第一级前置反向比例放大电路直接对光电倍增管的输出的负脉冲信号进行反向放大,放大倍数可调,现固定为10倍,得到的正向电流脉冲。第二级滤波电路对第一级出来的放大信号进行滤波处理,是二阶巴特沃思高通滤波器,主要滤除低频干扰,截止频率1 kHz,如图5。第三级放大调整电路是正向放大电路,前两级得到的波形进行调

整并保持正向,使适合AD采样电路的输入要求。

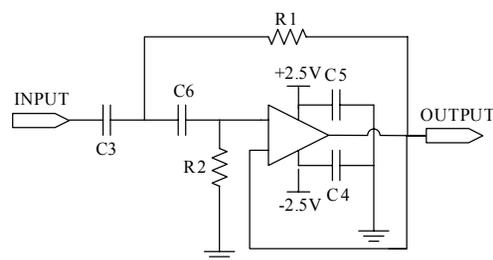


图5 高通滤波器电路

Fig.5 Circuit of high-pass filter

2) AD 转换-数字积分电路

在基本滤除背景光后,放电辐射的紫外光传输到传感器的受光面时已经非常微弱,使用示波器观察可以发现光脉冲信号是非常杂乱和无序的,为了收集这个信号,在此采用了积分的方法,收集一段时间的紫外光的总和,然后再进行计算平均功率,即采用紫外光功率测量的方法进行处理。模拟积分电路连续实现积分不太方便,因此采用了先将信号进行AD采集并离散化的处理再进行数字积分。

数字积分电路首先对放大滤波得到的放电信号波形进行AD采样及转换,再对得到的数字量进行单位时间的积分,将积分得到的值以柱状图的方式在液晶屏幕上显示,还可以通过串口将数据发送到计算机上作分析处理。采用AD7825作为高速模数转换器件。

3.3 处理器电路的设计

1) 单片机

处理器采用美国silicon公司Cygna1 C8051F系列高性能微处理器C8051F120,系统时钟100 MHz。C8051F系列单片机是高速高集成度的,具有独立工作的片上系统的混合信号系统级芯片,特别适用于电池供电的场合及便携式设备中。其具有的极低的功耗、强大的处理能力、丰富的片上资源、高效的开发环境为本装置平台的构建提供了硬件可能。

2) 外接存储器

由于进行大量数据的脉冲计数和AD转换以及数字积分,C8051F120内部存储器不能满足要求,要使用外接存储器。采用的外接存储器芯片为IS61C512AH,512 K容量,高速低功耗。存储器接口采用复用方式,选择单片机高位端口P7、P6、P5作为外部存储器接口。

3) 液晶显示

系统液晶显示屏采用了内嵌KS0107控制器YXD-12864A-02图形液晶显示模块,它分为左、右两部分,所以在编写液晶显示子程序及显示时需要

对左右两块分别操作，然后进行拼凑。显示屏自带背光，双电源输入，其中，液晶背光电源和液晶对比度电源均需要人工调节，经过试验测试，液晶背光电源设置为4.5 V，对比度调整电源设置为-9.2 V可达到较好的显示效果。

4) 声光报警与通信接口网络

装置设计有与继保装置的硬件接口，用于实现传递信号、电压耦合等功能，可以方便地与Easy系列小型可编程控制器以及PA100等系列继电保护装置连接。

同时，检测到电弧后，装置本身安装的蜂鸣器和高亮度发光二极管可以提供声光报警。当没有工作人员时，将信号通过RS485总线组成星型网络传输给主控室。

4 在线检测装置的软件设计

系统软件框架如图6，首先进行系统时钟、端口以及定时器等初始化，设置积分常数和噪声抑制阈值，进行紫外功率测量，设定数字积分阈值（具体可根据环境噪声调整）；然后进行数字积分，即加和操作；最后求积分均值，并可以根据前面的推导公式得出实际数值。得出放电功率值后，就可与预设阈值进行比较，判断有无电弧发生。

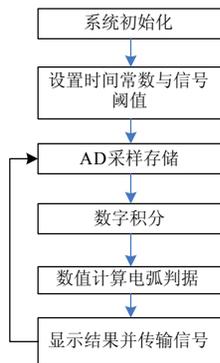


图6 系统流程图

Fig.6 Flow chart of system

显示程序中将数字积分的值以波形表示是显示程序部分的一个难点。我们先将一定时间内的积分数值通过量化，将该数值与显示器上的相应柱状图所对应起来（如果有需要可适当放大），再进行数据的进一步处理，形成可供显示的代码矩阵表格，最后通过调用显示子程序，将波形显示出来。

5 试验数据与分析

5.1 试验方法

为了验证该检测系统的可行性，在重庆大学输电装备及系统安全与新技术国家重点实验室进行

了模拟试验。试验电路利用高电压加于针-板电极上，以1 kV/s缓慢升压，直到产生电弧击穿，试验设备发生自动保护，击穿后电压降至零，通过接地棒放尽剩余电荷后再进行下一次试验，两次试验间隔5min。在此过程中，记录电弧发生时的放电功率值。针-板间距可调，每组按针-板间距为1 cm，2 cm进行两点试验检测，每点测量10次。

5.2 试验数据

下面列出间隙距离分别为1 cm和2 cm的典型放电波形图。

1) 距离为1 cm

典型波形积分图如图7所示。分别为9 kV和5.5 kV两组击穿时记录所产生的波形，电压高，放电幅值明显加强。

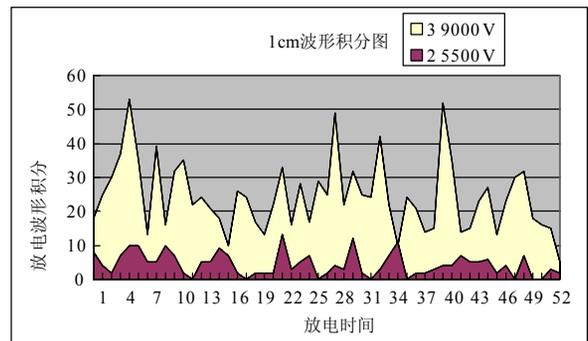


图7 1 cm 典型波形积分图

Fig.7 Representative wave from ultraviolet power method in 1cm

2) 距离为2 cm

典型波形积分图如图8所示。分别为19 kV和17 kV两组击穿时记录所产生的波形，电压高，放电幅值明显加强。相比1 cm针版距离，2 cm时放电强度更强。

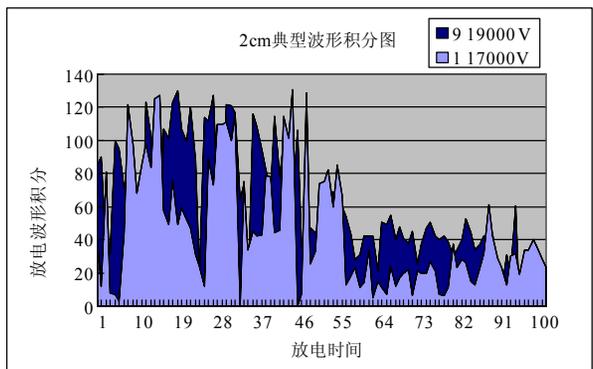


图8 2 cm 典型波形积分图

Fig.8 Representative wave from ultraviolet power method in 2cm

5.3 试验结论与分析

根据空气间隙放电规律, 对比试验测得紫外放电典型波形积分图, 可以看出紫外测量结果基本上也符合一般规律。

1) 发生击穿前, 能够检测到较小的电晕放电脉冲, 随着外施电压的增加, 放电强度逐渐增大, 发生电弧时, 放电波形幅度发生突变, 为电晕放电的100倍左右。整个过程来看, 试验现象符合气体放电发展过程;

2) 发生电弧放电过程时, 放电幅度显著提高, 并与电压等级同向增加;

3) 随着针-板间距离的增加, 放电强度增大。试验结果表明, 装置能够对气体放电的紫外功率准确测量, 有效反映放电的强弱;

4) 间隙距离不同, 由于试验设备保护时间问题, 电弧持续时间不一致, 从而击穿电压不一样。

6 结论

本文研究了“日盲”区紫外检测原理和紫外光功率测量法, 进行了电弧检测装置的硬、软件设计, 并进行了电弧模拟检测试验。在此基础上, 采用弧光单判实现了开关柜内电弧信号的在线检测。通过试验结果可知:

1) 该装置能够准确检测不同强度的放电, 相对反应放电强度的大小。于是在开关柜中, 可以设置不同强度的电弧检测阈值, 提高了继电保护的灵活性。

2) 发生电弧放电时, 装置能够检测到较大强度的放电信号, 不同电压和针板距离体现出来的放电强度符合放电规律。

3) 试验结果表明, 该装置具有较高的灵敏度和良好的抗干扰能力。内部故障电弧的弧光产生的紫外强度, 远远超过电晕、闪络等现象, 这样可以有效地剔除所有其他光源产生的干扰。

研究的新装置能够实时准确发现开关柜内电弧, 从而防止事故的发生。安装在江津供电局, 运行状况良好, 但目前没有检测到电弧事故, 因此, 目前没有实际运行数据。

参考文献

- [1] Kalkstein E W, Doughty R L, Paullin A E, et al. Safety benefits of arc-resistant metal clad medium voltage switch gear[J]. IEEE Transactions on Industry Application, 1995, 31(6): 1402-1410.
- [2] Klaus D W, Balnaves D. Internal faults in distribution switchgear – where are we now and where are we going[C]. //Trends in Distribution Switchgear, Conference Publication No. 459 IEE. 1998: 68-72.
- [3] Sidhu T S, Singh G, Sachdev M S. Protection of power system apparatus against arcing faults[C]. //1998 IEEE Region 10th International Conference on Global Connectivity in Energy, Computer, Communication and Control. 1998: 436-439.
- [4] Sidhu T S, Sachdev M S, Sagoo G S. Detection and location of low-level arcing faults in metal-clad electrical apparatus[C]. //Developments in Power System Protection, Conference Publication No. 479 IEE. 2001: 157-160.
- [5] Sidhu T S, Sagoo G S, Sachdev M S. Multi-sensor secondary device for detection of low-level arcing faults in metal-clad MCC switchgear panel[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2002, 17(1): 129-134.
- [6] Nakano S, Tsubaki T, Hironaka S. Applying a voice recognition system for SF6 gas insulated switchgear's inspection/maintenance services[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2001, 16(4): 534-538.
- [7] 年培新, 罗时璜, 董葆生, 等. 低压配电领域中的故障电弧防护[J]. 低压电器, 2000(1): 22-26.
- [8] NIAN Pei-xin, LUO Shi-huang, DONG Bao-sheng, et al. Protection of fault arc in the fields of low voltage power distribution[J]. Low Voltage Apparatus, 2000(1): 22-26.
- [9] 陈西庚. 成套开关柜的电弧短路保护[J]. 继电器, 2000, 28(6): 33-37.
- [10] CHEN Xi-geng. Protection against arc short circuit for switchgear cabinet set[J]. Relay, 2000, 28(6): 33-37.
- [11] Sidhu T S, Sagoo G S, Sachdev M S. On-line detection of low-level arcing faults in metal-clad electrical apparatus. Electrical and Computer Engineering, 2000 Canadian Conference, 2000: 730-734.
- [12] 王德志, 张爱萍. 电弧光保护在应用实践中的改进[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(24): 230-231.
- [13] WANG De-zhi, ZHANG Ai-ping. Improvement of electric arc light protection in practical application[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(24): 230-231.
- [14] 万山景, 王坚, 张梓望, 等. 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.
- [15] WAN Shan-jing, WANG Jian, ZHANG Zi-wang, et al. Discussion on configuration of ARC protection system[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(16): 99-103.
- [16] 蔡彬, 陈德桂, 吴锐, 等. 开关柜内部故障电弧的在线检测和保护装置[J]. 电工技术学报, 2005, 20(10): 83-86.
- [17] CAI Bin, CHEN De-gui, WU Rui, et al. Online detecting and protection system for internal faults arc in switchgear[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2005, 20(10): 83-86.

不仅可保存报文,有些主站甚至带有分析报文的功
能,而目前厂站系统能保存报文的也屈指可数,所
以主站自动化人员更需熟练掌握 101 规约、104 规
约,以便在调试维护时及时发现问题并解决。

参考文献

[1] 黄益庄.变电站自动化技术的发展方向[J]. 继电器, 2008, 36 (6): 1-3.
HUANG Yi-zhuang. Development tendency of substation automation technology[J]. Relay, 2008, 36 (6): 1-3.

[2] 中华人民共和国国家经济贸易委员会. DL/T634.5101-2002 远动设备及系统第 5-101 部分:传输规约基本远动任务配套标准[M]. 北京:中国电力出版社, 2003.

[3] 李明珍, 李雨舒, 谢宇昆. 通信自动化通道故障分析与维护[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37 (23): 167-169.
LI Ming-zhen, LI Yu-shu, XIE Yu-kun. Failure analysis and maintenance of automatic communication channel[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37 (23): 167-169.

[4] 华东电力调度通信中心. IEC 60870-5-101 华东电网应用规范 (修改稿)[S].

[5] 张信权, 梁德胜, 赵希才. 时钟同步技术及其在变电站中的应用[J]. 继电器, 2008, 36 (9): 69-72.
ZHANG Xin-quan, LIANG De-sheng, ZHAO Xi-cai. Time synchronization and its application in substation[J]. Relay, 2008, 36 (9): 69-72.

[6] 中华人民共和国国家能源局. DL/T634.5104-2009 远动设备及系统 第 5-104 部分 传输规约采用标准传输协议集的 IEC 60870-5-101 网络访问[S]. 北京:中国电力出版社, 2010.

[7] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. DL/T 5003-2005 电力系统调度自动化设计技术规程[S]. 北京:中国电力出版社, 2006.

收稿日期: 2010-03-29; 修回日期: 2010-05-29

作者简介:

张士勇 (1982-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向为厂站自动化; E-mail: klemen@163.com

陈 春 (1976-), 男, 本科, 工程师, 研究方向为电力信息; E-mail: dfchenchun@sina.com

贾大昌 (1981-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向为电力通信。

(上接第 133 页 continued from page 133)

[13] 范越, 施围, 等. 在单相自动重合闸中检测电弧故障的新方法[J]. 继电器, 1999, 27(6): 5-7.
FAN Yue, SHI Wei, et al. A new method to detect arc fault in single phase automatic reclosing[J]. Relay, 1999, 27(6): 5-7.

[14] 王平, 罗辞勇, 余波, 等. 基于嵌入式计算机的紫外内窥系统[J]. 光学精密工程, 2008, 16(2): 352-356.
WANG Ping, LUO Ci-yong, YU Bo, et al. UV endoscopic system based on embedded computer[J]. Optics and Precision Engineering, 2008, 16(2): 352-356.

[15] 黄晓博, 杨永明. 基于光电倍增管的高压电力设备放电检测系统的设计[J]. 高压电器, 2009, 45(3): 28-31, 35.
HUANG Xiao-bo, YANG Yong-ming. Design of discharge detection system based on photomultiplier tube for HV electric equipments[J]. High Voltage Apparatus, 2009, 45(3): 28-31, 35.

[16] Jungang Liu, Wei He, Liang Zhou, et al. Application of Ultraviolet Detector in Discharge Detection, International Journal of Emerging Electric Power Systems: Vol. 7: No.

3, Article 2[EB/OL]. <http://www.bepress.com/ijeep/vol17/iss3/art2>.

[17] 汪金钢, 何为, 李青文, 等. 基于紫外脉冲检测的非接触式特高压验电仪的研究[J]. 电工技术学报, 2008, 23(5):137-142.
WANG Jin-gang, HE Wei, LI Qing-wen, et al. Non-contact electro-scope for ultra-high-voltage appliances based on ultra-violet pulse detecting[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2008, 23(5): 137-142.

[18] 匡红杠, 张占龙. 基于紫外光功率法的电力设备电晕放电检测仪[J]. 现代科学仪器, 2009, 25(4): 36-39.
KUANG Hong-gang, ZHANG Zhan-long. Corona discharge detector of electric equipment based on UV pulse power[J]. Modern Scientific Instruments, 2009, 25(4): 36-39.

收稿日期: 2010-03-22; 修回日期: 2010-05-04

作者简介:

汪金钢 (1979-), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为输电线在线监测、电力设备放电检测与故障诊断。E-mail: jingang_023@163.com