

变电站自动化系统的过电压防护问题

郑曲直

(昆明供电局,云南 昆明 650011)

摘要: 以一次变电站自动化系统雷击过电压事故为例,对变电站自动化系统的防雷及过电压防护问题进行探讨,提出一些防范的原则及措施。

关键词: 变电站自动化;防雷;过电压

中图分类号: TM86

文献标识码: B

文章编号: 1003-4897(2000)11-0050-05

1 前言

随着以计算机技术为主的变电站自动化系统的应用,变电站二次系统已经与过去发生了本质的变化,保护设备从电磁式、晶体管式、集成电路演变为微机保护,二次设备间的控制信号传送方式从简单的控制、信号回路演变为以计算机网络为基础的数据通信,所传送的信息包括整个变电站运行中所有的状态信息和控制信息,总之,整个变电站二次系统已经形成一个基于计算机网络平台的分层分布式计算机系统。计算机系统具有高速度、高集成度、低电压的特点,同时对各种电磁干扰非常敏感,而变电站电磁环境非常恶劣,其中经常存在过电压现象对计算机系统的危害很大,如雷电过电压、操作过电压、电磁感应产生的过电压等都可能进入计算机系统,对系统产生干扰或破坏,因此如果我们不对过电压采取有效的防护,将会给设备和系统造成重大损失。

2 雷电过电压入侵的一个实例

我局 220kV 海埂变电站于 1999 年 4 月投运,二次部分采用 CSC2000 型综合自动化系统,是典型的分层分布式系统,110kV 保护设备在开关场保护小间内安装,其他二次设备在主控制室安装,相互间二次电缆联系如下图,在 1999 年 8 月,变电站连续发

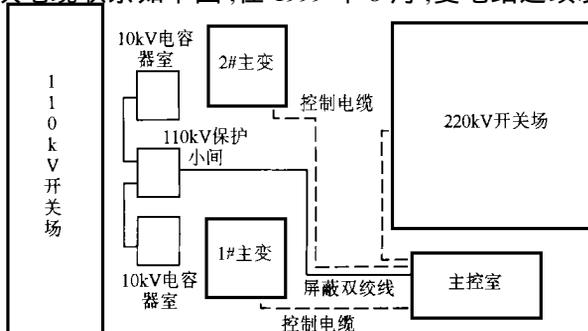


图1 220kV 海埂变电站平面布置图

生 3 次雷击引起的过电压损坏自动化系统的情况。

1999 年 8 月 18 日,在变电站上空发生雷击,造成 1# 主变保护开入光隔损坏,恢复后,为了隔离感应电压进入监控微机,人为解开 NEC 监控机数字地、串行通信口地与微机电源地之间的连接。

8 月 20 日,变电站上空又发生雷击,造成当地监控系统瘫痪,经检查发现两台当地监控计算机(NEC POWERMATE NT2000 P 200MMX)串口、网络主站通信的串行通信口和主板损坏。

8 月 30 日,又在变电站上发生雷击,此次造成主备两台当地监控微机与网络主站、五防微机的 4 个串行通信口损坏,导致当地监控系统停运 48h。

事故调查发现,雷击引起的过电压经现场总线侵入网络主站,而 CSM300B 当地总线入口处电路板上的位置紧邻其电源输出电路,使电源插件输出 $\pm 24V$ 、 $\pm 12V$ 、 $\pm 5V$ 与地击穿,可见明显闪络点, $-12V$ 与地完全击穿,并与相邻的与当地监控计算机通信的串口 RXD1 击穿,使整个通信 RXD1 与保护屏安全地接通,使所有当地监控计算机与网络主站以电回路直接相连的串口都遭到损坏,而通过光电隔离与网络主站连接的设备均未受到影响。

海埂变电站位于滇池附近的开阔沉积平地上,附近为农田和村落,几公里内无高大建筑。现场检查了所有避雷器放电计数器均未动作,表明并无雷电从出线侵入,变电站避雷针引雷可能性较大。因此判断过电压是由于雷电流在地网流动,通过电磁耦合进入从开关场保护小间到主控室的屏蔽双绞线,进而侵入变电站网络主站和当地监控微机。

通过分析,我们采取将串口电缆更换为光,由光电隔离的电流环连接;在站用电馈线处加防雷和过电压保护器;在联系保护小间与主控制室的双绞线两端加装双绞线专用防雷和过电压保护器,两端加端接电阻;对微机综合自动化系统的接地进行了完善。下面对变电站的综合自动化系统的过电压防护

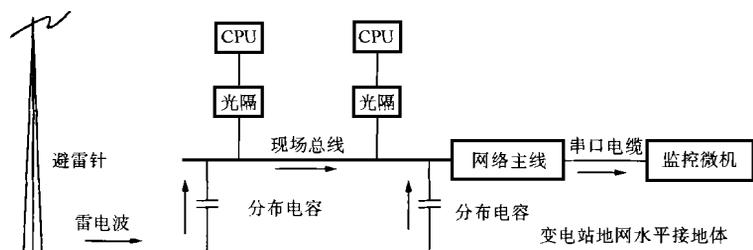


图2 雷击过电压侵入路径示意图

问题进行探讨。

3 过电压侵入自动化系统的途径

变电站计算机系统处在一个恶劣的电磁环境中,对位于室内的计算机系统产生威胁的过电压主要来自一次系统的过电压,如雷击产生的过电压入侵,系统短路电流和断路器动作等产生的骚扰电压。对分层分布式自动化系统,线路保护和测控设备一般在高压室或开关场保护小间布置,主控室布置当地监控设备、主变保护和其他自动化设备,设备间用通信电缆连接,控制电缆基本不引出室外,过电压入侵的途径主要是:

1) 传导耦合:主控制室或保护小间作为一个有效的屏蔽体考虑,室内设备与室外一次有各种控制电缆、电力电缆、通信电缆、接地网等连接,室外一次设备的过电压冲击可以通过二次电缆直接进入室内设备;通过室外的现场通信总线进入室内计算机系统和二次设备,进而侵入所有相连的计算机;通过站用电系统经电源线进入室内二次系统。

2) 线路间分布电容耦合:一次设备、接地网上的骚扰电压通过与二次电缆、设备之间存在分布电容和电感侵入设备;

3) 电磁感应耦合:即电磁辐射通过空间传递,在二次设备和相联系的电缆上产生过电压。雷电流在建筑物钢筋网架和避雷线上流过,在室内的计算机系统中产生感应过电压。

4) 地电位反击:直击雷电流入地,使地网电位提高,对室内二次设备造成反击;

在对自动化系统造成破坏的各种过电压的因素中,雷击是首先应考虑的因素。虽然站内遭受直击雷的机率很低,但雷电流在经变电站母线并经避雷器入地网,在受干扰的二次回路与大地间将产生干扰电压 E :

$$E = R_k + L_k (di/dt)$$

其中, R_k ——电阻耦合;

L_k ——雷电流经的干扰回路与包括二次开关回

路接地的回路间的互感。

雷电波在二次电缆上的感应电压也会对计算机系统产生极大危害,研究表明,雷击高压线路或站内接地元件时,随着侵入的雷电波脉冲峰值陡度的不同, di/dt 增大或减小。根据武高所的研究结果,当雷击变电站出线或站内一次设备时,站内二次电缆的过电压如下表:

表1 雷击变电站时二次电缆过电压情况

项 目	与母线有耦合关系的电缆		与母线无耦合关系的电缆	
	外皮在两 端接地	外皮在设备 端接地	外皮在两 端接地	外皮在设备 端接地
外皮 设备端	8.6kV	8.8kV	8.6kV	8.8kV
电位 控制室端	4.1kV	30.0kV	0.004kV	21.4kV
芯线对地干扰电压	11.8kV	16.0kV	34.0kV	20.0kV
芯线之间干扰电压	6.0kV	1.2kV	12.0kV	0.1kV

地电位反击也是造成二次设备干扰和破坏的重要原因。由于雷电流入地后,地网的接地阻抗和地网与设备的连线阻抗,使雷电流入地时在设备上产生电压反击,或者是在不同的设备接地点间产生暂态电位差,对设备造成冲击。据测定,一根 1m 长的设备接地引下线,在 10MHz 的阻抗 L 达到约 60 Ω , 所以接地引下线要尽可能短。

站内开关操作在二次电缆内感应引起的过电压也应引起重视。根据国内外有关模拟计算及实际测量的结果表明,在一个 115kV、220kV 和 500kV 的变电站进行断开空母线的开关操作,其过电压水平如下:

表2 站内开关操作时二次电缆过电压情况

电压等级 (kV)	电流 (A)	电压 (kV)
115	6.2	0.36
230	5.1	4.49
500	19.6	6.77

4 变电站自动化系统对过电压的防护措施

4.1 防止由通信电缆、控制电缆等侵入的过电压

1) 如果微机监控系统位于主控制室,微机保护分布安装在开关柜上或开关场保护小间,那么监控系统与微机保护通信介质最好采用光缆,如果条件不允许,那么从开关场保护小间到主控制室的穿越室外的一段应尽可能采用光缆。光缆沿二次电缆沟敷设,可以不考虑遭受直击雷的情况。在考虑光缆外护层绝缘强度采用有金属外护层的光缆时,金属护层可以不引入室内接地。

2)采用屏蔽双绞线通信的系统,通信线一般采用总线方式,实际接线往往是双绞线在保护屏间形成若干段,每相邻两段电缆两端芯线和屏蔽层都在端子排连接,屏蔽层则未与保护屏接地铜排连通,末端悬空。连接示意图如下图:

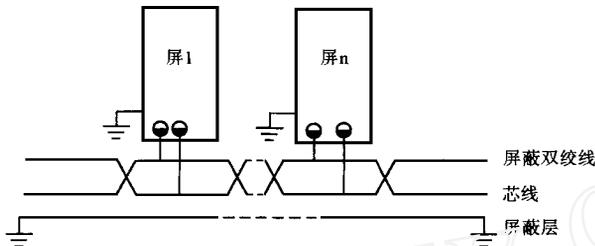


图3 不合理的网络通信电缆连接

这种连接方式存在两个问题:

1)屏蔽层只在两端接地,当屏蔽层和地网有感应电流时,当双绞线长度较长(如开关场保护小间与主控制室之间的连接),造成两端地电位不一致,将对正常通信电平产生影响甚至损坏装置通信接口;

2)两端悬空,由于波阻抗不匹配,在数据通信中将产生反射,对基于冲撞检测的现场总线通信方式,当距离较长时将严重影响数据通信。侵入的过电压波在两端反射,将产生更高的过电压冲击。

合理的连接方式:

1)相邻两段双绞线屏蔽层在保护屏端子排上连接,并与保护屏接地铜排相连,保证与主控制室联网微机的地电位在同一个水平,并可随地电位上下浮动。

2)在双绞线悬空的两端应端接与电缆波阻抗相匹配的电阻,一般为 $100 \sim 102 \Omega$ 。

3)屏蔽双绞线和屏蔽电缆在引入室内时,最好用不短于15m的金属穿管引入,金属穿管要与主接地网可靠连接。

4)考虑到双绞线芯线上的差模干扰有较强的抑制作用,但当屏蔽层有感应电流流过时,或由于磁场

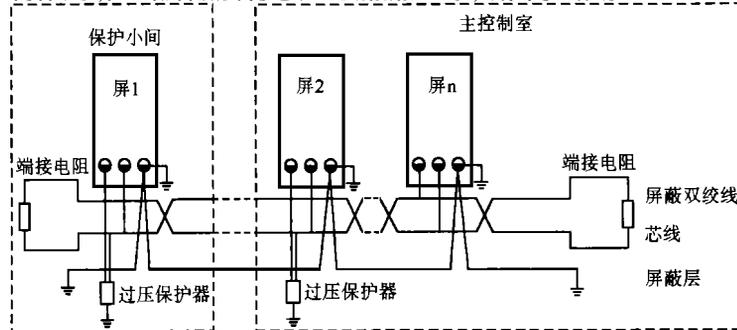


图4 合理的网络通信电缆连接

及电容耦合效应,会在芯线对地产生较大的共模干扰电压(如前文),这个干扰电压侵入计算机设备,会对设备内部绝缘较为薄弱的电子线路产生损坏,因此在雷击频繁的地区和感应过电压严重的变电站,电缆两端应考虑采取抑制共模过电压的措施。现场我们采用在连接主控制室与保护小间的一段屏蔽双绞线两端加双绞线专用的防雷和过电压的保护器。

4.2 防止经电源线侵入的过电压

变电站自动化系统电源一般由两部分:继电保护及自动装置、现场总线设备等一般由变电站直流系统供电;采用工业微机的当地监控系统则由站用电系统以单相交流供电,一般经过UPS供给不间断的交流电源,而UPS逆变装置在交流正常情况下并不工作。这种供电方式存在两个问题:

1)变电站一次系统的雷电或内部过电压以及电磁干扰只有站用变高压侧一级避雷器防护,其残压和高频暂态冲击仍然可以通过站用变绕组传递耦合、经过站用电系统侵入当地监控计算机。如果站用变低压侧装有一组避雷器,则情况会有所改善,但仍然不能彻底解决。

2)目前通用的工控计算机其串行口的地与主接地是统一的并与计算机开关电源地和机壳连接。这就造成经现场总线侵入的过电压可直接进入计算机敏感数字系统,经站用电系统侵入的过电压也可以进入现场总线。

解决措施:

1)取消目前当地监控系统由站用电系统和UPS供电的方式,改为由变电站直流系统经逆变电源供电。目前已经有厂家提供变电站专用的逆变电源,这样也解决目前商用UPS在变电站使用存在故障率高、安时数不足的问题。

2)如果保留站用电系统供电方式,则应根据站用电系统情况,如低压电缆长度、低压配电型式,站用变低压侧、室内馈电屏进线、分路馈线后设置两级或三级过电压保护,当级间距离较短时,还要考虑退耦的问题。

3)将当地监控计算机与现场总线上的通信站间的串行通信线从直接连接改为经光电隔离的长线驱动器连接,以有效切断过电压干扰的传播途径。

4.3 防止地电位的反击过电压

根据有关部门接地规程,110kV及以上变电站接地网接地电阻不大于0.5 Ω ,那么当雷电流或故障电流经过接地网入地时,会使

地网电位与大地间产生电位差 U , $U = R_z * I_f$ (R_z 为地网接地电阻, I_f 为入地电流)。如果流入地网的电流不对称,还会使地网的各点间产生电位差,在站内的屏蔽双绞线两端形成纵向电压进入现场总线上的微机装置,对装置正常通信和绝缘造成威胁。目前城网改造中为节省占地,城市中心区变电站采用在多层或高层建筑物内布置,变电站接地与建筑物钢结构和建筑物防雷引下线共地设计,对地电位反击问题应引起更多重视。

对地电位反击的问题除了改善变电站接地网,降低接地电阻,合理布置雷电流入地点在地网上的位置,例如雷电流引下线尽量接在地网水平接地体的交叉点上,尽可能使入地电流对称以外,还可以采取如下措施:

1) 提高设备的对地绝缘水平,应能耐受可能的地电位反击过电压,屏蔽双绞线芯线之间、芯线与地网及屏蔽层之间要有足够的绝缘水平。

2) 构造等位面,即严格按有关“反措”要求,在主控制室构造与主接地网绝缘的铜排网,所有微机装置接地点与铜排连通,铜排与主接地网单点接地。穿越开关场的屏蔽双绞线屏蔽层只在一点接地。这样在接地网上出现反击电位时,降低整个综合系统承受的反击电位差。

4.4 防止空间瞬变电磁场产生的感应过电压

变电站微机装置可能安装在开关柜、开关场保护小间或主控室,其空间经常充满高频瞬变电磁场,根据有关研究表明,当空间电场大于 $1V/m$,将对计算机正常工作产生严重影响。而变电站断路器动作,隔离开关操作、雷击放电等都会产生波前极陡的电磁波。由于变电站高频电磁耦合途径极多,要对电磁感应过电压进行防护只有采取综合手段,从变电站结构、自动化系统结构和装置性能各方面采取措施:

1) 按电磁环境不同把变电站划分为不同电磁兼容区,各电磁兼容区要有良好的屏蔽,如高压室和主控制室建筑物的钢结构应全部连接并良好接地;

2) 连接一二次的所有控制电缆屏蔽层两端应良好接地,要严格执行继电保护技术“反措”要求。

3) 当地总线的通信媒介尽可能采用光缆;光缆具有基本不受电磁干扰的特性,遭受直击雷的可能性极小,是提高通信可靠性的有效手段。

4) 二次设备要有良好的屏蔽性能;

5) 微机装置的输入输出采取光隔、隔离变送器、继电器等有效的隔离手段。对海埂变电站的雷击事

故调查发现,对采取了有效光电隔离的接口均未受到损坏。

6) 二次电缆的布置要尽可能避免与变电站母线和高压出线平行。

4.5 设备数字地、模拟地、电源地及保护接地的处理

在一个变电站自动化系统中,存在各种各样的“接地”,如数字地(即逻辑地)、模拟地、抗干扰接地、电源地和保护接地、屏蔽接地等,其中有的是真正意义上的接地,有的只是一些参考电位,正确处理这些接地点,可以对防护过电压和电磁干扰的侵入起到积极作用,反之则可能成为过电压和干扰的侵入的途径。常见的接地类型有:

1) 数字地:是数字电路中逻辑电平的参考电位。

2) 模拟地:是交流量进入装置后,进行数模转换前的参考电位。

3) 电源地:是装置交流电源的地,即两相站用电的零线。

4) 抗干扰接地:在装置整流电源滤波电路中为电源中滤除的干扰成份提供通路设置的接地。

5) 屏蔽接地:是装置中各种屏蔽层的接地,如变压器初、次级间的屏蔽,一些对电磁干扰敏感的部件的屏蔽盒的接地,机壳的接地等。

6) 保安接地:是为保障人身安全,防止触电设置的接地,一般与机壳连接。

对各种类型接地的处理,从考虑电磁兼容的角度出发,一般遵循下面一些原则,贯彻这些原则,对防护过电压侵入同样有积极的意义:

1) 这些“接地”中,数字地和模拟地是装置内部的参考电位,不应与变电站的地网连通,造成地网中的干扰电位侵入装置,干扰装置数字电路的逻辑和数模转换的参考电位,会对数字电路的正常工作 and 采样正确性造成严重影响。

2) 数字地与模拟地应分开,切断相互间干扰电位通路。

3) 电源地是与站用变的中性点连接的零线,在站用变侧已经接地,不应该再在装置侧接地。

4) 抗干扰接地应一般与装置的机壳连接。

5) 屏蔽接地应与机壳连接。

6) 保安接地一般是机壳的接地,既机壳与保护屏体的接地铜排连通,保证在机壳带电时的人身安全,应与变电站地网可靠连接。

7) 所有抗干扰接地和屏蔽接地应尽量分别连通,引到机壳的总的一点接地,而不要用一根导体连

接所有各类接地点后再接到机壳或多个接地点。

5 结论

变电站自动化系统的过电压防护,是综合应用一次侧过电压防护技术、计算机等微电子设备及通信设备过电压防护和抗干扰技术、继电保护抗干扰技术的问题。变电站自动化系统的过电压防护水平与变电站的布置、二次设备的过电压承受能力有密切的关系,其中与变电站各类设备的接地方式有较大关系。接地的原则是构造等位面,单点接地。安装端接电阻和采用防雷和过电压防护器也可以提高过电压防护能力。随着计算机技术在电力工业中越

来越深入地应用,我们有必要深入研究计算机系统在变电站这样特殊电磁环境下的规律。

参考文献:

- [1] 99EMC论文集.北京:第五届全国电磁兼容学术会议,1999.
- [2] 王梅义.电网继电保护应用.中国电力出版社,1999.
- [3] 电力系统继电保护及安全自动装置反事故措施要点.电力工业部,1984.

收稿日期: 2000-04-14

作者简介: 郑曲直(1971-),男,大学本科,从事电力系统继电保护及自动化方面工作。

Overvoltage protection of the automation system in substation

ZHENG Qu - zhi

(Kunming Power Supply Bureau, Kunming 650011, China)

Abstract: The lightning protection and overvoltage protection of the automation system in substation are discussed in this paper by taking the lightning stroke overvoltage event in automation system in the primary substation as a case. Some countermeasures and principles are proposed in this paper.

Key words: integrated automation in substation; lightning protection; overvoltage

(上接第25页)提高我国配网自动化水平,最终提高供电质量及配电网经济运行指标具有重要而深远的意义。Web技术与各领域信息系统的结合,必将给各领域信息系统的推广应用带来光明的前景,随着Internet/ Intranet技术的普及,越来越多的系统将向着基于WEB的方向发展,本课题的研究也为解决这个问题做了有益的探讨。

参考文献:

- [1] 张建.构造企业网 Intranet.中国计算机报,1997-10-20.
- [2] 凌永明.基于Web的Client/Server计算,计算机工程,1997,(3):3-7.
- [3] Microsoft ActiveX.电子与信息化,1997,(2):47-50.
- [4] Eric Tall,Mark Gnsburg著,章巍译.ActiveX开发人员指南(美).机械工业出版社,1997.
- [5] Jerry Anderson著,张知一,史元春译.Visual C++5 ActiveX编程指南(美).清华大学出版社,1998.

- [6] Peter Norton,Rob MeGregor著,孙凤英,魏军,徐京,等译.开发Windows 95/NT4应用程序(美).清华大学出版社,1998.
- [7] 薛启康.将Windows NT服务器用作路由器实现网络互连.计算机与通信,1997,(11):29-33.
- [8] 周翠萍.用Windows NT server4.0构建企业网络系统.计算机与通信,1997,(8):9-12.
- [9] Peter D. Hipson著,张达,冼立勤等译.Windows NT4 Server(美).电子工业出版社,1997.

收稿日期: 2000-04-13

作者简介: 张鹏(1975-),男,博士研究生,研究方向为电力系统及设备可靠性、配电系统自动化; 郭永基(1934-),男,博士,教授,博导,研究方向为电力系统自动化、电力系统及设备可靠性。

A web-based implementation to distribution system long distance supervision

ZHANG Peng¹, GUO Yong-ji¹, WANG Hai-zhen¹, WU Shui-long²

(1. Tsinghua University, Beijing 100084; 2. Shandong Hualu Power Plant, Dezhou 253000, China)

Abstract: Web browser is becoming the predominant user interface in more and more application systems along with the prevalence of Internet and Intranet Technologies. This paper provides a successful implementation to the final users with the interactive application for real time supervision of distribution system with computer on the Internet.

Key words: distribution system; web; browser/ server