

变电所抗扰度措施

钟成元

(安庆供电局调度所,安徽 安庆 246003)

摘要:分析了变电所内二次回路中骚扰的主要来源及其对微机保护的影响,给出了正确使用屏蔽电缆,敷设接地铜排构造等电位面,改进继电保护高频通道,电流、电压互感器二次回路一点接地,电压互感器二次回路和三次回路相互独立等变电所内主要的抗扰度措施。这些抗扰度措施的落实,对微机保护的安全稳定运行起到了极其重要的作用。

关键词:变电所; 抗扰度; 措施; 屏蔽; 接地

中图分类号: TN973 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003 - 4987(2002)10-0069-04

1 引言

随着信息技术的广泛应用,以及集成电路和计算机技术的迅速发展,微型机继电保护已在电力系统广泛使用,并以其合理的结构,完善的性能担负起电网安全的重任。由于环境等多种因素的作用,运行在各变电所内的继电保护装置也不断受到正常情况和某些特殊偶然情况下产生的强电磁场的骚扰。微机保护及自动装置的抗电磁骚扰也越来越受到电力系统的广泛关注,各相关部门都采取了一系列有效的措施来减少电磁扰度,以确保微机保护装置的安全运行。在此,结合《电力系统继电保护及安全自动装置反事故措施要点》(以下简称“要点”),谈谈变电所抗扰度措施在安庆供电局的实施。

2 二次回路骚扰电压的主要来源

谈变电所抗扰度措施,首先要了解二次回路骚扰电压的来源及相关因素,才能提高防范意识,并提出有针对性的解决办法与措施。二次回路中骚扰电压的来源通常有以下几种。

2.1 静电耦合

图1表示两导线之间的电容性耦合关系。 C_{11}

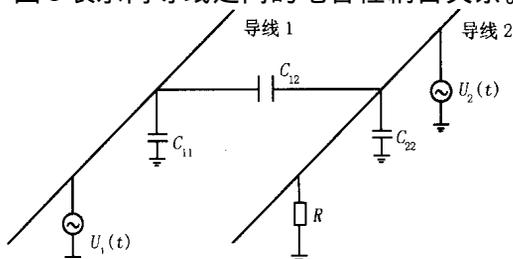


图1 静电耦合示意图

Fig. 1 The schematic diagram of electrostatic coupling

和 C_{22} 为每条导线的对地电容, C_{12} 为导线之间的耦合电容。由于两导线之间耦合电容 C_{12} 的存在,相互给对方产生骚扰信号,且 C_{12} 越大,产生的骚扰越严重。一次骚扰源通过静电耦合到二次回路的骚扰电压,实质上就是通过二次回路的对地电容(阻抗)和一次与二次回路的耦合电容(阻抗)加到二次回路的骚扰电压。同时,二次回路对地电容(阻抗)在一定程度上对来自一次回路的骚扰也有一定的抑制作用。

2.2 电磁感应

根据电磁感应定律,当一次骚扰源中的电流流动时,除了在一次骚扰源导线中产生自感电压外,还将通过耦合磁通在二次回路中产生感应电压,即互感电压。变电所内,由一次回路和二次回路之间互感的存在,一次骚扰源导线必然会在二次回路中产生骚扰电压,骚扰电压的大小与一、二次回路的互感阻抗、骚扰源电流大小、电流频率以及一、二次回路的相对位置有关。控制电缆与骚扰源平行时的电磁骚扰如图2所示。若骚扰源中流过按正弦规律变化的电流 $i = I_m \sin t$,则在二次回路中产生的骚扰电压为:

$$U_t = - M \frac{di}{dt} = - \left(\mu_0 L I_m / 2 \right) \cdot I_n (b/a) \cos t$$

$i = I_m \sin \omega t$ 一次骚扰源导线

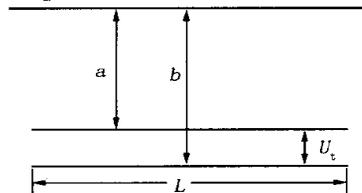


图2 控制电缆与骚扰源平行时的电磁骚扰

Fig. 2 The electromagnetic interference of the control cable paralleled the interference source

式中： μ_0 为空气的导磁系数； L 为平行的电缆长度； a, b 为每根电缆芯与骚扰源的距离。

2.3 地电位差

当大电流接地系统发生单相接地短路时，变电所的接地网中会流过故障电流，此电流流经接地体的阻抗时便会产生电压降，使变电所内各点的地电位有较大差别。在同一回路中有不同的接地点且分布在变电所的不同区域时，各接地点间地电位差就会在连接的电缆芯中产生电流。而且地电位差也能在两端接地的电缆芯和多点接地的电缆屏蔽层中产生电流，使电缆芯线中产生骚扰电压。

2.4 二次回路自身产生的骚扰电压

由电路知识可知，断开直流控制回路中的电感线圈，会产生高频暂态骚扰电压。二次回路自身产生的骚扰电压，也就主要来源于二次回路中所连接的电感元件。电感元件的断开，将直接影响到同一电源上的回路，同时也会通过电磁耦合对其它回路产生骚扰。

2.5 380/220 V 交流回路对控制、保护回路的骚扰

变电所内的 380/220 V 交流主要用于动力、照明和加热等，一般与控制及保护回路没有直接联系。但是在设计和施工中若没有充分考虑交流回路可能对直流回路形成的骚扰，就可能造成两者共用一根电缆或并排相邻布线。这样交流回路和直流回路之间势必因距离近而产生较大的互感，交流系统中产生的电磁骚扰就会通过交直流回路之间的互感，在直流回路中产生骚扰，进而影响保护装置的正常运行。

3 抗扰度措施

变电所内各种途径的骚扰，可能使微机保护运算或逻辑出错、运行程序出轨及微型机芯片损坏等，进而使微机保护装置无法正常工作甚至误动作。微机保护及自动装置在正常运行时，一方面要求装置本身具备符合要求的抗扰度能力，这就要求现场使用的微机保护必须按照 IEC 标准进行严格的抗扰度试验；另一方面在变电所建设和改造中尽可能采取必要的措施将这些二次设备上的骚扰降低到可以接受的水平，这也正是保护专业尤其要注重的一个方面。

3.1 屏蔽电缆的正确使用

3.1.1 屏蔽电缆屏蔽层两端同时接地

采用带屏蔽层的控制电缆，并将屏蔽层在开关场和控制室内两端同时接地，是当前普遍采用的一

种有效的二次回路抗扰度措施。发挥屏蔽电缆屏蔽作用的一个重要方面就是屏蔽层两端接地，一方面当控制电缆为母线暂态电流产生的磁通所包围时，在电缆的屏蔽层中将感应出屏蔽电流，由屏蔽电流产生的磁通将抵消母线暂态电流产生的磁通对电缆芯线的影响；另一方面可以降低由于地电位升高产生的暂态感应电压^[1]。在安庆供电局，不管是新建还是改造的变电所均沿用了这一做法，并杜绝用屏蔽电缆备用芯接地作为抗扰度措施。从开关场到控制室的电流、电压及控制电缆全部采用诸如 KVVP2-22 型屏蔽电缆，屏蔽电缆两端均用 4 mm² 的多股软铜线在电缆的屏蔽层上紧紧缠绕数圈后旋紧固定。室内连接电缆屏蔽层的接地线可靠接于各保护屏内的接地小铜排上，开关场处则经开关端子箱内的接地点接到电缆沟内的 100 mm² 接地铜排上，实现屏蔽电缆屏蔽层两端同时接地。

3.1.2 弱信号线不得与有强骚扰的导线相邻

微机保护主要由程序实现逻辑判断，其内部弱电回路的抗扰度措施就显得尤为重要。微机保护装置都选用了优质的微型机芯片和元器件，设计合理的线路布局和制造工艺来切断各种电磁耦合的途径，以减小骚扰对保护装置的影响。尽管如此，在使用中依然要尽量避免对弱电回路造成骚扰。弱信号线与有强骚扰（如中间继电器线圈）的导线相临近，则断开跳、合闸线圈或断开继电器线圈电源就会在弱电回路中产生频谱较宽的高频骚扰，这种大能量的骚扰可能会损坏弱电回路的元器件，从而引起弱电回路的逻辑混乱。

3.1.3 交直流回路禁止共用同一根电缆

交流回路和直流回路分别形成各自独立的接地系统和绝缘系统。若交直流回路用在同一根电缆内，容易造成相互骚扰，两者一旦发生短路或芯线间绝缘电阻下降，就造成直流接地，同时影响交直流两个系统。由于交流窜入直流回路或对直流回路的骚扰造成设备损坏甚至更为严重的事故在系统内也曾发生过，决不能因一时的便利，为安全运行留下隐患。

3.1.4 规范控制电缆的敷设

电缆沟的设计，尽可能遵循电缆沟路径远离变压器中性点及避雷针、避雷器等高频暂态电流的入地点，并尽量不要平行于高压线，以最大限度地减小这些强骚扰源对电缆沟内控制电缆的骚扰。在电缆沟内，一般将控制电缆敷设在电缆支架的第二、三层并与电力电缆保持尽可能大的间距，一方面充分利

用 100 mm^2 接地铜排所产生的附加屏蔽效应;另一方面减弱电力电缆发生不对称故障产生的强磁场对控制电缆的骚扰。

3.2 敷设接地铜排构造等电位面

安庆供电局现有各变电所都按照安徽省中调关于认真落实“要点”的文件精神,在各开关场主电缆沟两边电缆支架的最上层各敷设了一根 100 mm^2 铜排,铜排每隔一段距离用铜镣丝与电缆支架固定一次,且两排铜排每隔 $40\sim 50\text{ m}$ 相互连接一次。铜排的接头处均使用铜镣丝可靠相连,在引入控制室的电缆竖井处将两铜排相连,用一根铜排引入电缆层并置于电缆支架上,再沿微机保护屏下环绕一周。在电缆层内选择一处将铜排可靠接地,这样就形成一个有利于屏蔽骚扰的等电位面网。电缆沟内,铜排敷设于电缆支架的最上层,一方面为紧邻的高频同轴电缆提供理想的屏蔽支援,同时也给下面的控制电缆提供附加的屏蔽效应。在室外主电缆沟到各线路间隔高频保护的支电缆沟用一根 100 mm^2 铜排敷设到距结合滤波器 5 m 处,以满足高频通道用结合滤波器接地的需要。控制室各微机保护屏内专用接地端子使用 4 mm^2 软铜线可靠接于屏内的接地小铜排上,各接地小铜排再用 40 mm^2 多股铜线与电缆层中的 100 mm^2 接地铜排相连,从而消除了各微机保护设备之间的地电位差,屏蔽各种可能的骚扰。

3.3 继电保护高频通道改进措施

(1) 高频同轴电缆的接地

安徽省中调在关于加强系统继电保护运行管理若干问题的通知中明确规定:高频收发讯机用高频同轴电缆应在两端分别接地,即在户外结合滤波器端和控制室内保护屏上同时接地。为进一步落实“要点”的要求,控制室内的高频同轴电缆屏蔽层皆用 4 mm^2 的多股软铜线直接接于保护屏的接地小铜排上,开关场处则经结合滤波器二次端子,用 10 mm^2 的绝缘铜导线引下,可靠接于电缆沟内的接地铜排上。高频电缆屏蔽层除屏蔽作用外还兼作高频信号的回程通路,屏蔽层两端接地,可以显著降低到收发讯机入口的骚扰电压,保障收发讯机的安全运行,还可以避免地网中工频电位差在高频电缆屏蔽层产生电流而影响高频信号的传输。屏蔽层接于接地铜排上,则更进一步降低系统接地时引入高频电缆回路的电位差。

(2) 更换结合滤波器

2000年,安庆供电局按照省中调的要求,将保

护用结合滤波器全部更换为符合“要点”要求的 JL-400-5-8 型结合滤波器。新的结合滤波器根据《继电保护高频通道工作改进措施》的要求,分别提供一次接地(排流线圈)和二次接地点(匹配变量器)等两个接地点,以实现一、二次接地点分别接地。新的结合滤波器与高频电缆芯线相连端串有电容,可以有效防止工频量进入变量器,引起变量器饱和,造成通道阻塞。结合滤波器外壳、高频同轴电缆的外罩铁管及耦合电容器的底座牢固焊接在一起。高频同轴电缆的屏蔽层在结合滤波器二次端子上,用 10 mm^2 的绝缘铜导线引下,可靠接于电缆沟内距结合滤波器 5 m 处的 100 mm^2 接地铜排上,A、B相结合滤波器接地刀闸的接地端则用 40 mm^2 的软铜绝缘线引出并在另一端用铜镣丝可靠接于 100 mm^2 接地铜排上,实现接地。

3.4 电流互感器二次回路一点接地

电流互感器二次回路必须有一个接地点,以确保人身和二次设备的安全。在电流二次回路中,如果正好电流继电器线圈两侧都有接地点,则两接地点所构成的并联回路会使流过电流线圈的电流大为减少,可能造成保护拒动。此外,在发生接地故障时,两接地点间工频电位差所产生的额外电流又可能使保护误动^[1]。在1991年部颁的《继电保护和自动装置技术规程》中,明确规定:电流互感器的二次回路应有一个接地点,并在配电装置附近经端子排接地。但对于有几组电流互感器连接在一起的保护,则应在保护屏上经端子排接地。

这一规定已为继电保护人员所理解并在各变电所内认真地加以落实,诸如母线保护、变压器差动保护等有几组电流互感器连接在一起的保护都严格地在保护屏上经端子排可靠一点接地,以消除可能给保护运行和检修试验时带来的不安全因素。

3.5 电压互感器二次回路一点接地

随着变电所抗扰度措施研究的深入,以及电压互感器在开关场多点接地而造成保护不正确动作事故的多次发生,电压互感器二次回路必须一点接地也越来越受到各单位的重视。在1991年部颁的《继电保护和自动装置技术规程》中规定:电压互感器的二次回路只允许有一处接地,接地点宜设在控制室内,并应牢固焊接在接地小母线上。同时在“要点”中也明确规定:经控制室零相小母线(N600)连通的几组电压互感器二次回路只应在控制室将 N600 一点接地,各电压互感器二次中性点在开关场的接地点应断开;为保证接地可靠,各电压互感器的中性

线不得接有可能断开的断路器或接触器等。

不难理解,若 TV 在开关场多点接地,当发生接地故障时,开关场铁质地网各点电位差很大,势必造成 TV 各个接地点电位的浮动,二次电压发生畸变,畸变的电压引入继电保护装置即可能引起阻抗元件拒动或误动。而采取变电所内几组 TV 二次回路的中性线,在室内 N600 小母线连接在一起,牢固焊接在接地小母线上,则避免将开关场的地电位差引入保护装置,从而排除保护不正确动作的可能性。

3.6 电压互感器二次回路和三次回路相互独立

对于电压互感器,过去传统的接线是 TV 二次回路和三次回路的中性线公用一根电缆芯接到 N600 小母线上,对于常规保护而言也未发现不足之处,且一直在系统内应用。随着微机保护的广泛使用,其应用自产 $3U_0$ 来实现接地方向保护的特点使 TV 公用中性线可能造成零序方向保护误动的危害也暴露出来。由于二次和三次回路中性线共用一根电缆,使得微机保护自产 $3U_0$ 受到了三次回路 $3U_0$ 的影响,其影响主要由三次回路的负载电阻及共用电缆芯的电阻所决定。公用中性线,则可能使微机保护自产 $3U_0$ 和三次回路的 $3U_0$ 反向,从而造成接地零序方向保护正方向拒动,反方向误动的后果。

4 几点体会

(1) 以上都是在安庆供电局各变电所认真落实的抗扰度措施。目前微机保护及变电所综合自动化技术已在系统内普及,结合在工作中遇到的实际问

题和近年来电力系统各部门下发的安全简报及事故通报的学习和讨论,使我们深刻认识到抗扰度措施的落实对于微机保护的安全运行乃至整个电网安全的重要性,只有真正理解了抗扰度问题,认真落实抗扰度措施中的每一个环节,才能为微机保护创造良好的运行环境。

(2) 由于保护屏接地线悬而未接或保护屏内接地小铜排接地不紧固等变电所接地网状况不好,造成微机保护元器件损坏甚至主变、母线等重要设备跳闸事故在系统内常有发生。教训是深刻的,更重要的是要总结经验,提高对变电所抗扰度问题的认识,并加强防范意识,真正做到防患与未燃。

(3) 随着研究的深入,变电所的抗扰度措施也会进一步完善。新技术的运用,必然会给抗扰度增添新的内容,作为继电保护专业人员应该不断实践与研究,共同担负起电网安全运行的重任。

参考文献:

- [1] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护实用技术问答(第二版)[M]. 北京:中国电力出版社,1999.
- [2] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护规定汇编(第二版)[M]. 北京:中国电力出版社,1999.

收稿日期: 2002-04-08

作者简介:

钟成元(1973 -),男,助理工程师,从事继电保护安装、调试和运行维护工作。

Discussion on the measures of anti interference in substation

ZHONG Cheng yuan

(Power Dispatch Department of Anqing Electric Power Bureau, Anqing 246003, China)

Abstract: This paper analyzes the main source of interference in secondary circuit and the influence on the microcomputer based protection in substation. Measures of anti-interference in substation is given, which include using the shielded cable correctly, arranging ground connection into equal electric potential, improving the high frequency channel, the secondary circuit of CT and PT has only one ground point respectively. The secondary circuit and the third circuit are mutually independent. For safe operation in microcomputer protection, it is important to put these anti-interference measures into practice.

Key words: substation; anti-interference; measure; shield; earthing

(上接第 68 页)

- (1. Electric Power Department of North East China Electric Power Institute, Jilin 132012, China;
2. Power Plant of Ma Wan, Shenzhen 518052, China)

Abstract: Electric power demand increase with the development of national economy. In this circumstance, secure and reliable power supply become more important. The costumers have higher requirement for power quality and reliability. In addition to improving automation of power distribution, the reasonable relaying for distribution transformers is necessary. This paper gives an analysis to various connection of power transformer and determines a protection scheme that in condition of keeping the traditional overcurrent relaying, improves the effective operation. Therefore, decrease the fault occurring probability, and increase the quality of power supply.

Key words: transformer; overcurrent protection; adaptive setting