

接地铜排对变电站二次电缆防护效果研究

刘倩,曹雯,苗浩铭,杨昊,纪超
(西安工程大学 电子信息学院,陕西 西安 710048)

Research on Protective Effect of Ground Copper Bars on Secondary Cables in Substations

LIU Qian, CAO Wen, MIAO Haoming, YANG Hao, JI Chao

(School of Electronic Information, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, Shaanxi, China)

ABSTRACT: When the substation is switched or struck by lightning, the grounding grid will produce ground potential difference that will affect the secondary cables, and laying ground copper bars can effectively prevent current from damaging the secondary cables. Based on ATP-EMTP software, this paper establishes a simply simulation model of substation primary grounding grid, studies the connection mode of ground copper bars and primary grounding grid, and analyzes the protection effect of ground copper bars on the secondary cables. The results show that added ground copper bars can reduce the interference voltage of secondary cables under certain condition; but when there are multiple connection points between the ground copper bars and the primary grounding grid, injected current at different positions will have different effects on the voltage between the cable core and the shielding layer and the ground potential rise of the cable grounding points. When the current is injected from the inner and outer sides of the two grounding points of the cable in the horizontal direction, the effect of the ground copper bars is opposite, and as the number of connection points between the grounding copper bars and the primary grounding grid increases, the voltage between the cable core wire and the shielding layer and the ground potential rise of the cable grounding point show increasing or decreasing trends respectively.

KEY WORDS: grounding grid; secondary cable; ground copper bar; ground potential rise

摘要: 当变电站开关操作遭遇雷击时,接地网会产生地电位

差而对二次电缆造成影响,敷设接地铜排能有效阻止电流对二次电缆的损害。基于 ATP-EMTP 软件建立了一个简化的变电站主接地网仿真模型,对接地铜排与主接地网的连接方式等情况进行研究,分析了接地铜排对二次电缆的防护效果。研究表明:增设接地铜排在一定条件下可以降低二次电缆的干扰电压,但接地铜排与主接地网有多个连接点时,在不同位置注入电流,会对电缆芯线与屏蔽层间的电压以及电缆接地点的地电位升产生不同的影响;从电缆 2 个接地点水平方向的内侧或外侧分别注入电流,接地铜排的影响效果相反,随着接地铜排与主接地网连接点个数的增加,电缆芯线与屏蔽层间的电压和电缆接地点地电位升分别呈增大或减小的趋势。

关键词: 接地网;二次电缆;接地铜排;地电位升

当电力系统发生雷击、操作冲击和接地短路故障时,接地网上巨大的电位差会在双端接地的控制电缆屏蔽层上产生不平衡电流,该电流产生的磁场会在电缆芯线上产生一个交变的电压,严重时烧毁电缆^[1-5]。依据《国家电网公司十八项电网重大反事故措施》要求“在主控室、保护室和配电室等安装保护装置的场所,以及开关场端子箱、LCP 柜、配电柜、保护用结合滤波器和电缆沟道等敷设二次电缆的地点,应使用截面不小于 100 mm² 的接地铜排敷设二次系统等电位接地网”^[6-7]。

在户外电缆沟敷设接地铜排可以有效降低二次电缆屏蔽层两端电压,避免二次设备的误动或拒动^[8-12]。但是对于电缆沟内接地铜排和主接地网的连接方式目前存在许多的争议,文献[7]认为,接地铜排与主接地网应在主电缆沟远端及主电缆沟内每

基金项目:国家自然科学基金项目(51707141)。

Project Supported by the National Natural Science Foundation of China(51707141).

相隔 15~20 m 并靠近就地端子箱处相连一次。而文献[13-17]却认为在端子箱处接地铜排与主接地网相连,除端子箱外的其他地方接地铜排与主接地网不相连,否则当该处附近发生一次设备接地故障时,一次系统的地电位升高,将会对接地铜排上的电压及电流的流向造成影响,进一步影响二次电缆屏蔽层上的感应电流和二次电缆屏蔽层的抗干扰效果。现有的资料在电缆沟接地铜排的设置方面存在差异,并没有对一些细节问题作出明确的规定,这也是变电站设计、建设以及验收规范模糊不清的地方。

当雷电流注入主接地网时,控制二次电缆屏蔽层与接地网连接点之间的电位差并降低电缆芯线与屏蔽层间电压具有重要的意义^[18-21]。雷击时接地网不等电位情况较为明显,电缆屏蔽层两端存在较大电位差,增设接地铜排就是针对此问题的一项非常有效的解决措施。当接地铜排与主接地网之间的拓扑连接结构不同时,雷电流对二次电缆的影响会极为不同。因此,有必要研究接地铜排与主接地网的连接方式对二次电缆的安全性能的影响。本文基于 ATP-EMTP 软件建立了一个简化的变电站主接地网模型,仿真计算了发生雷击故障时雷电流注入主接地网对二次电缆产生的干扰电压,对二次电缆的本身特征参数(连接方式和长度)、接地铜排的尺寸、接地铜排与主接地网的连接方式等干扰电压的影响因素问题进行研究,分析了接地铜排对二次电缆的防护效果。

1 仿真计算模型

本文搭建 100 m×100 m 的主接地网,如图 1 所示。

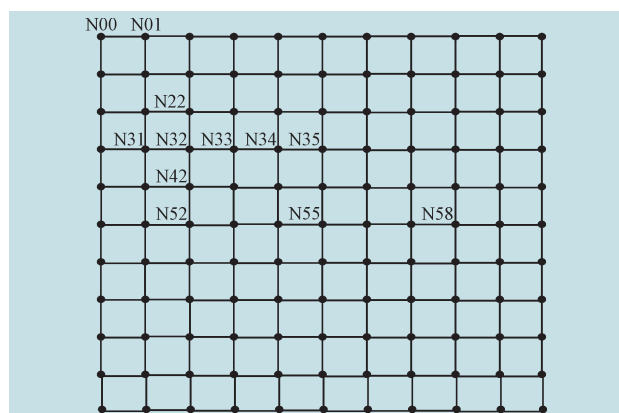


图1 100 m×100 m型主接地网结构图
Fig.1 Structure diagram of 100 m×100 m main grounding grid

变电站主接地网接地体采用的是镀锌扁钢,导体半径为 0.02 m,水平敷设的接地体埋深为 1.0 m;土壤电阻率为 100 $\Omega\cdot\text{m}$ 。接地网等间隔布置,水平接地网的横向和纵向的间隔均为 10 m,即为 100 m×100 m 的接地网。

在《国家电网公司十八项电网重大反事故措施》中提到,变电站二次系统中使用的电缆均为屏蔽电缆,但未提及屏蔽电缆的屏蔽层数,因此本文建立 2 种类型的电缆模型,分别为铜带屏蔽控制电缆(型号 KVVVP2,简称单屏蔽电缆)和铜带屏蔽钢带铠装控制电缆(型号 KVVVP2-22,简称双屏蔽电缆),如图 2 所示。

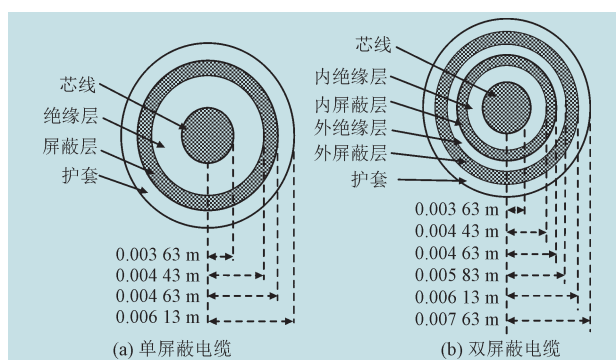


图2 电缆模型截面图

Fig.2 Cable model cross section

为了研究雷电冲击电流下,外界条件不同时地电位升对二次电缆干扰电压的影响情况,本文选择幅值为 10 kA、波形为 2.6/50 μs 的雷电流作为入地电流,雷电流初始注入点设置在 N34 点,电缆两端分别在 N52 和 N58 与主接地网连接。

2 二次电缆的不同对干扰电压的影响

2.1 二次电缆接地方式对干扰电压的影响

首先,根据图 1 建立模型,计算电缆长度为 200 m 时,单屏蔽电缆和双屏蔽电缆在不同接地方式下,芯线与屏蔽层间的电压,结果如图 3 所示。图 3 中 1 号代表双屏蔽电缆外屏蔽层两端接地、内屏蔽层一端接地;2 号代表单屏蔽电缆屏蔽层两端接地;3 号代表单屏蔽电缆屏蔽层一端接地。

由图 3 可知,单屏蔽电缆 2 号接地方式比 3 号接地方式下在电缆芯线与屏蔽层产生的干扰电压要低。因此,单屏蔽电缆屏蔽层两端接地能够使电

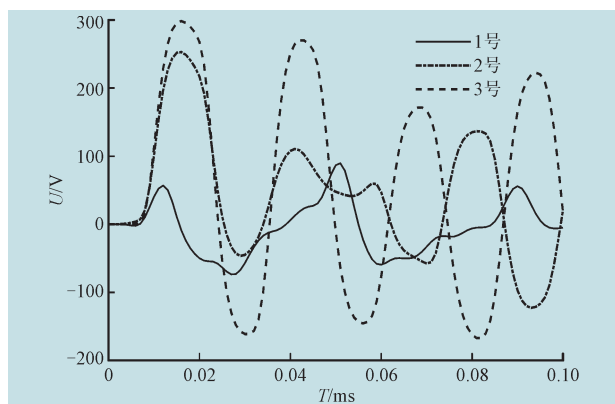


图3 电缆不同接地方式下芯线与屏蔽层间电压
Fig.3 Voltage between core wire and shielding layer under different grounding methods of cable

缆屏蔽层具有更强的抗干扰能力。但对于干扰比较强的地方,单屏蔽电缆两端接地可能无法满足抗干扰要求,这时需选择双屏蔽电缆。根据《GB50057—2000 建筑物防雷设计规范》规定,双屏蔽电缆应外屏蔽层两端接地、内屏蔽层一端接地^[22],1号接地方式时,电缆芯线与屏蔽层间的电压比单屏蔽电缆2号和3号接地方式时的电压都小,进一步说明双屏蔽电缆比单屏蔽电缆抗干扰效果好。

本文接下来的计算中将选择单屏蔽电缆屏蔽层两端接地和双屏蔽电缆外屏蔽层两端接地、内屏蔽层一端接地这2种电缆接地方式。

2.2 二次电缆长度对干扰电压的影响

改变电缆长度进行仿真计算,结果见图4。由图4可知,电缆两端接地点位置相同时,电缆芯线与屏蔽层间的电压随着电缆长度的增大而增大。因此,为了使电缆上的干扰电压最小,应尽量缩短2个设备间的距离,即在不影响使用的前提下,二次电缆的长度越短越好。

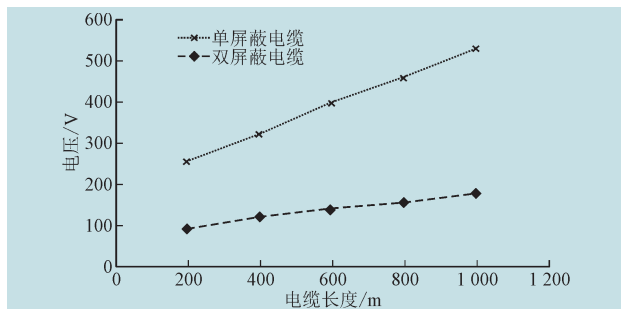


图4 电缆长度不同时的芯线与屏蔽层间电压
Fig.4 Voltage between core wire and shielding layer under different cable lengths

3 接地铜排防护效果分析

3.1 有无接地铜排的影响效果

为了对比有、无接地铜排对电缆干扰电压的不同影响,在原模型中添加接地铜排,并将其与二次电缆并联敷设在电缆沟里,分别在电缆两端接地点N52和N58处,将接地铜排与主接地网连接。保持其他参数不变,仅改变接地铜排的尺寸,重复之前的计算,得到的仿真结果见表1。

表1 有、无接地铜排时电缆芯线与屏蔽层间电压及接地点N52和N58间电位差

Table 1 The voltage between the cable core and the shielding layer and the potential difference between the grounding points N52 and N58 with and without grounding copper bars V

电缆类型	无接地铜排	有接地铜排接地铜排横截面积/mm ²			
		25	50	70	100
单屏蔽电缆	253	182	176	175	174
双屏蔽电缆	90	51	49	48	47
接地点电位差	226	41	22	15	11

由表1可知,添加接地铜排使得芯线与屏蔽层间的干扰电压和电缆2个接地点间的电位差明显减小。有接地铜排时,单屏蔽电缆芯线与屏蔽层间的干扰电压约为无接地铜排时的70%;双屏蔽电缆芯线与屏蔽层间的干扰电压约为无接地铜排时的50%。无论是单屏蔽电缆还是双屏蔽电缆,有接地铜排时电缆2个接地点间的电位差均为无接地铜排时的5%~18%。因为铜排阻抗比屏蔽层阻抗小得多,故障电流主要从铜排中流过,使流过屏蔽层的电流减小,降低了对电缆芯线电压的干扰。可见,采用接地铜排能够有效保护双端接地的二次电缆。同时,接地铜排的尺寸也会影响其分流的效果。芯线与屏蔽层间的电压、电缆2个接地点间的电位差,均随着接地铜排横截面积的增大而越来越小,因此本文选择横截面积为100 mm²的接地铜排。

3.2 接地铜排与主接地网连接方式的影响效果

由于仿真设置的主接地网模型大小有限,电缆接地点首端固定接N52点、末端固定接N58点。为了更有效反映接地铜排的作用,分别设置了2个、3个、4个和7个连接点的情况,具体连接方式如图5所示。

3.2.1 接地铜排与主接地网连接方式对电缆干扰电压的影响

在N34点注入电流,随着接地铜排与主接地网

连接点的增加,电缆芯线与屏蔽层间的电压如图6所示。

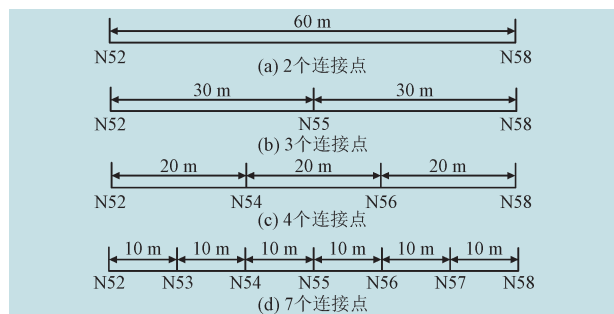


图5 接地铜排与主接地网连接方式

Fig.5 Connection method of ground copper bar and main grounding grid

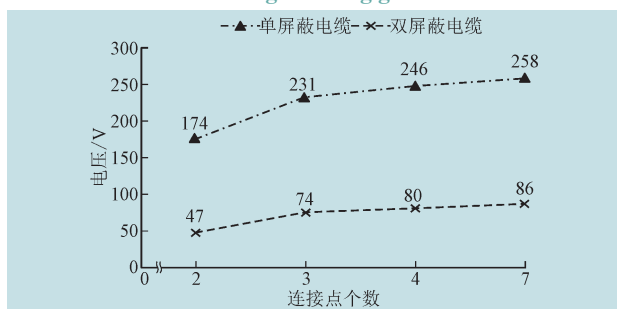


图6 电缆芯线与屏蔽层间电压变化曲线

Fig.6 Voltage change curve between core wire and shielding layer of cable

根据以往的文献结论,添加与主接地网2点相连的接地铜排,可减小电缆芯线与屏蔽层间的电压。但由图6可知,单屏蔽电缆、双屏蔽电缆的芯线和屏蔽层间电压均随着接地铜排与主接地网连接点的增加而升高,可见接地铜排与主接地网的连接点个数和位置会直接影响接地铜排对二次电缆的防护效果。

3.2.2 接地铜排与主接地网的连接方式对电缆接地点地电位升的影响

在N34点注入电流,随着接地铜排与主接地网连接点的增加,电缆接地点N52和N58点的地电位升如图7所示。

由图7可知,随着接地铜排与主接地网连接点的增加,电缆接地点N52和N582点的地电位升明显上升,且电缆首端接地点的地电位升大于末端接地点的地电位升。

3.3 电流注入点位置对接地铜排效果的影响

根据图1主接地网模型所示,N35点作为电缆两端接地点的中点,注入电流位置关于N35对称时对电缆干扰电压的影响是一致的,因此本文从N35

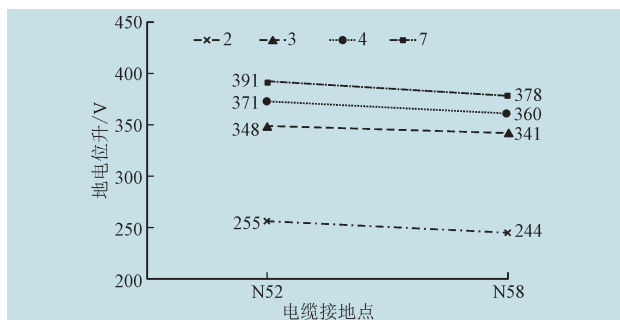


图7 电缆接地点地电位升变化曲线

Fig.7 Change curve of ground potential rise of cable grounding point

的左侧注入电流,即电流注入位置与电缆接地点平行和电流注入位置与电缆接地点垂直2部分进行分析。

3.3.1 水平方向注入点变化的影响

分别在N31、N32、N33、N34以及N35单点注入雷电流。

1) 芯线与屏蔽层间电压。得到单屏蔽电缆、双屏蔽电缆的芯线与屏蔽层间电压随接地铜排与主接地网连接点的变化曲线,如图8所示。

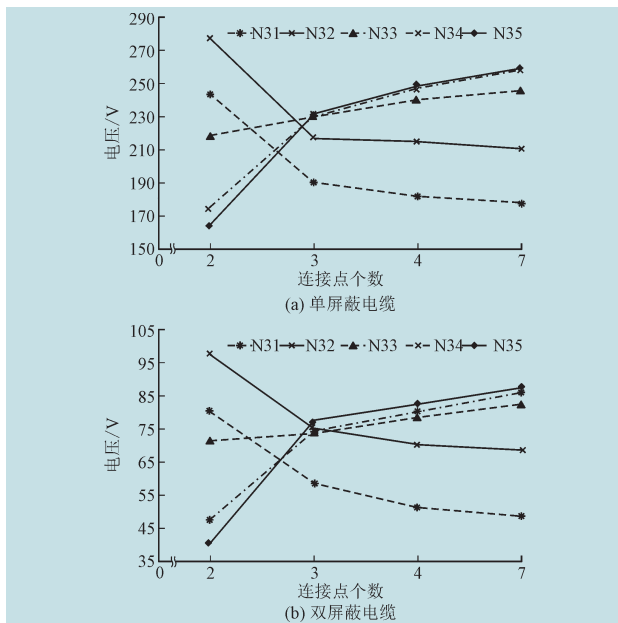


图8 水平方向注入电流时电缆芯线与屏蔽层间电压随连接点个数的变化曲线

Fig.8 Variation curve of the voltage between the cable core wire and the shielding layer with the number of connection points when current is injected in the horizontal direction

由图8可知,单屏蔽电缆和双屏蔽电缆的芯线与屏蔽层间的电压变化规律是一致的。其中N52点是电缆首端接地点,分别在N52点水平方向外侧的N31、N32主接地网节点注入电流,随着接地铜排与主接地网连接点的增加,电缆芯线与屏蔽层间的

电压呈现减小的趋势;在 N52 点和 N58 点水平方向内侧的 N33~N35 节点注入电流,随着接地铜排与主接地网连接点的增加,电缆芯线与屏蔽层间的电压呈升高的趋势。在电缆两端接地点对称轴上的 N35 点处注入电流,随着连接点的增加,电缆芯线与屏蔽层间的电压逐渐变为最大,即对电缆的危害最大。

2) 电缆接地点 N52 和 N58 的地电位升。如图 9 所示分别为接地铜排与主接地网有不同个数的连接点时,电流依次从 N31~N35 点注入接地网时,电缆接地点 N52 和 N58 的地电位升变化图。

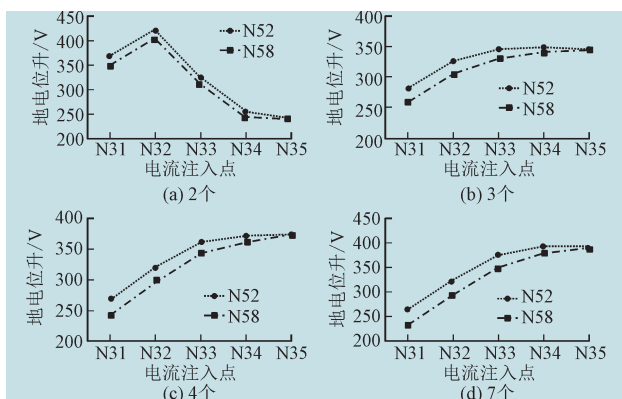


图9 不同连接点时的电缆接地点地电位升变化图

Fig.9 Variation of ground potential rise of cable grounding points at different connection points

由图 9 可知,在电缆首端接地点 N52 水平方向的外侧 N31、N32 主接地网节点注入电流,电缆 2 个接地点的地电位升随着接地铜排与主接地网连接点的增加而减小;在电缆两端接地点水平方向内侧的 N33~N35 节点注入电流,电缆 2 个接地点的地电位升随着接地铜排与主接地网连接点的增加而增加。注入点越靠近电缆两端接地点对称轴,电缆 2 个接地点地电位升的差值就越小,在 N35 点注入电流时,电缆 2 个接地点的地电位升相同。

3.3.2 垂直方向注入点变化的影响

分别在 N22、N32 和 N42 节点注入电流,电流注入位置与电缆接地点 N52 和 N58 的连线垂直。

1) 芯线与屏蔽层间电压。单屏蔽电缆和双屏蔽电缆的芯线与屏蔽层间电压的变化曲线如图 10 所示。

由图 10 可知,随着接地铜排与主接地网连接点的增加,电缆芯线与屏蔽层间的电压呈减小的趋势。注入电流越靠近电缆接地点 N52,芯线与屏蔽层间电压值越大,芯线与屏蔽层间电压减小趋势越明显。

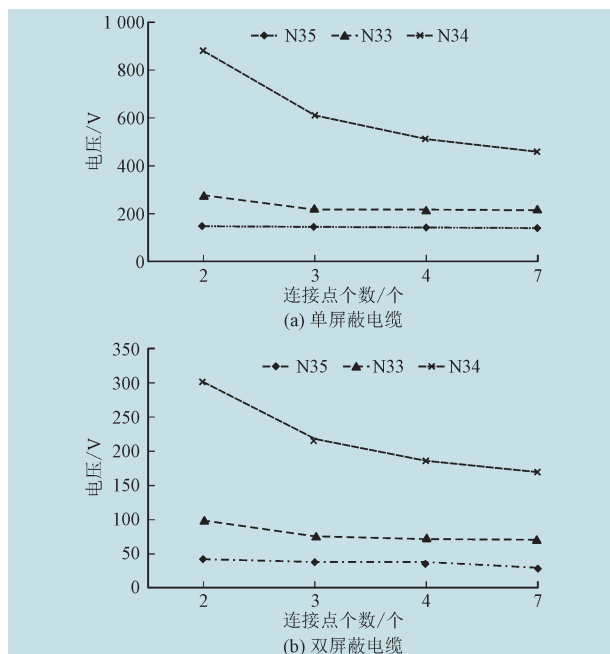


图10 垂直方向注入电流时电缆芯线与屏蔽层间电压随连接点个数的变化曲线

Fig.10 Variation curve of the voltage between the cable core wire and the shielding layer with the number of connection points when the current is injected in the vertical direction

2) 电缆接地点 N52 和 N58 的地电位升。电缆 2 个接地点地电位升的变化曲线如图 11 所示。由图 11 可知,电缆两端接地点的地电位升均随着接地铜排与主接地网连接点的增加而减小,越靠近电缆接地点,电缆接地点地电位升减小越明显。

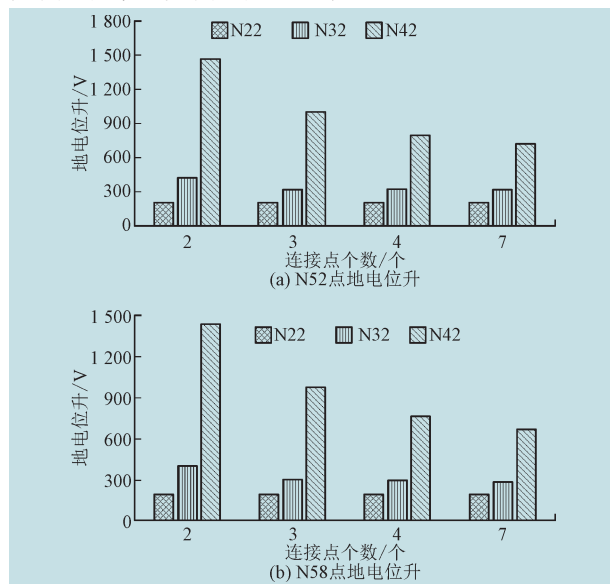


图11 不同连接点时的电缆接地点地电位升变化图

Fig.11 Variation diagram of ground potential rise of cable grounding point at different connection points

实际变电站内这种类似的等电位铜排和主接地网可能不止这几个连接点,连接点的位置也各异,但依据本文模型得到的计算结果仍然可以说明相关问题。

4 结论

通过仿真分析了敷设接地铜排对二次电缆的影响,主要研究结论如下:

1) 单屏蔽电缆屏蔽层双端接地,双屏蔽电缆外屏蔽层双端接地、内屏蔽层一端接地,电缆的抗干扰效果最好。当电缆两端接地点位置相同时,电缆芯线与屏蔽层间的电压随着电缆长度的增大而增大。

2) 给电缆并联敷设两点接地的接地铜排,芯线与屏蔽层间的电压和电缆2个接地点间的电位差明显减小,且芯线与屏蔽层间的电压和电缆2个接地点间的电位差随着接地铜排横截面积的增大越来越小。

3) 若注入电流位于电缆2个接地点水平方向的外侧时,可以通过增加接地铜排与主接地网连接点的个数来降低电缆芯线与屏蔽层间的电压和电缆接地点地电位。若注入电流位于电缆2个接地点水平方向的内侧,增加接地铜排与主接地网连接点的个数对于降低干扰的效果越差。

4) 若注入电流的位置距离电缆的垂直距离越短时,对二次电缆干扰越大,随着接地铜排与主接地网连接点个数的增加,增加接地铜排的效果越明显。

参考文献

- [1] 陈伟伟,吕盼,纪凤坤,等.基于多维度检测与Petri网的变电站接地故障风险评估[J].电力系统保护与控制,2019,47(23):152-159.
CHEN Weiwei, LÜ Pan, JI Fengkun, et al. Risk assessment of substation grounding fault based on multidimensional detection and Petri net[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(23): 152-159.
- [2] 张健,马伟,朱亚奇,等.10 kV配网中性点小电阻接地系统的研究与设计[J].电力系统保护与控制,2019,47(14):109-115.
ZHANG Jian, MA Wei, ZHU Yaqi, et al. Research and design of neutral grounding resistance system for 10 kV distribution network[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(14): 109-115.
- [3] 徐鹏,赵文翰,盛智蕾,等.110 kV干式空心电抗器接地排发热异常原因分析[J].电力电容器与无功补偿,2020,41(2):99-102.
XU Peng, ZHAO Wenhan, SHENG Zhilei, et al. Cause analysis on abnormal heating of earthing bar of 110 kV dry-type air-core reactor[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2020, 41(2): 99-102.
- [4] 黄华,邹俭,阮羚,等.大范围地电位波动的监测与定位[J].电力科学与技术学报,2019,34(4):54-62.
HUNAG Hua, ZOU Jian, RUAN Ling, et al. Detection and location of large-scale earth potential fluctuation[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2019, 34(4): 54-62.
- [5] 谢雪芳,熊志金.雷电冲击下的变电站接地网及组合电器外壳暂态特性[J].广东电力,2021,34(4):115-122.
XIE Xuefang, XIONG Zhijin. Transient characteristics of grounding grid and composite apparatus enclosure in substation under lightning impulse[J]. Guangdong Electric Power, 2021, 34(4): 115-122.
- [6] 张森,汤心韵,周力行,等.电站10 kV连续倾斜架空线防雷配置改造[J].电力科学与技术学报,2019,34(2):169-174.
ZHANG Miao, TANG Xinyun, ZHOU Lixing, et al. Power station 10 kV continuous tilt overhead line lightning protection reformation[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2019, 34(2): 169-174.
- [7] 国家电网公司.国家电网公司十八项电网重大反事故措施(试行)[M].北京:中国电力出版社,2012.
- [8] 熊卫红,毛兴华,李景禄,等.小电阻接地方式对人身安全的影响及智能电阻接地方式研究[J].电力系统保护与控制,2019,47(14):166-172.
XIONG Weihong, MAO Xinghua, LI Jinglu, et al. Influence of small resistance grounding mode on personal safety and research of intelligent resistance grounding mode[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(14): 166-172.
- [9] 高晓东,安韵竹,毕斌,等.输电线路雷击接地散流与附近管道过电压防护研究[J].电力工程技术,2021,40(1):162-174.
GAO Xiaodong, AN Yunzhu, BI Bin, et al. Research on protection of transmission line lightning stroke and grounding dispersion and nearby pipeline overvoltage[J]. Electric Power Engineering Technology, 2021, 40(1): 162-174.
- [10] 彭平,曾祥君,倪砚茹,等.考虑地铁杂散电流影响的变压器直流偏磁电流建模方法[J].电力科学与技术学报,2021,36(1):192-198.

- PENG Ping, ZENG Xiangjun, NI Yanru, et al. Modeling for the DC bias current of transformer caused by the metro stray current[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2021, 36(1): 192-198.
- [11] 务孔永, 惠康, 张国锋, 等. 基于模拟实验与有限元仿真的针刺式接地体接地特性研究[J]. 浙江电力, 2021, 40(5): 105-111.
- WU Kongyong, HUI Kang, ZHANG Guofeng, et al. Research on grounding characteristics of needle-shaped earthing electrode based on simulation experiment and finite element simulation[J]. Zhejiang Electric Power, 2021, 40(5): 105-111.
- [12] 王闰羿, 胡兵, 王良毅, 等. 分布式小电流接地保护研究与应用[J]. 供用电, 2020, 37(5): 56-63.
- WANG Runyi, HU Bing, WANG Liangyi, et al. Research and application on distributed small-current grounding protection[J]. Distribution & Utilization, 2020, 37(5): 56-63.
- [13] 汤相彬. 二次系统等电位接地网的敷设[J]. 电网技术, 2012, 36(8): 57-59.
- TANG Xiangbin. Laying of secondary equipotential grounding[J]. Power System Technology, 2012, 36(8): 57-59.
- [14] 魏光. 牵引变电所主接地网设计研究[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(9): 181-187.
- WEI Guang. Study on the design of a main grounding grid in a traction substation[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(9): 181-187.
- [15] 张国栋, 蒲海涛, 刘凯. 基于深度学习的小电流接地系统故障选线方法[J]. 发电技术, 2019, 40(6): 548-554.
- ZHANG Guodong, PU Haitao, LIU Kai. Fault line selection method of small current grounding system based on deep learning[J]. Power Generation Technology, 2019, 40(6): 548-554.
- [16] 郝晓光, 耿少博, 任江波, 等. 智能变电站二次电缆回路建模方法研究与应用[J]. 电力科学与技术学报, 2020, 35(4): 161-168.
- HAO Xiaoguang, GENG Shaobo, REN Jiangbo, et al. Research and application of modeling method of secondary cable loop in intelligent substation[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2020, 35(4): 161-168.
- [17] 李振华, 沈聚慧, 李振兴, 等. 隔离开关电弧模型及对Rogowski线圈电流互感器的传导干扰研究[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(16): 131-139.
- LI Zhenhua, SHEN Juhui, LI Zhenxing, et al. Research on an arc model of a disconnector for conduction interference of a Rogowski coil electronic transformer[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(16): 131-139.
- [18] 曹俊平, 黄勃, 王成珠, 等. 基于小波变换的高压电缆混合线路故障定位方法及验证试验[J]. 浙江电力, 2021, 40(2): 14-19.
- CAO Junping, HUANG Bo, WANG Chengzhu, et al. Fault location method and verification test analysis of hybrid HV cable lines based on wavelet transform[J]. Zhejiang Electric Power, 2021, 40(2): 14-19.
- [19] 刘继平, 魏菊芳, 郝晓光, 等. 一起220 kV CVT二次电压波形畸变的故障分析[J]. 电力电容器与无功补偿, 2020, 41(2): 70-73.
- LIU Jiping, WEI Jufang, XI Xiaoguang, et al. Fault analysis on secondary voltage waveform distribution of 220 kV CVT[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2020, 41(2): 70-73.
- [20] 陈芳, 李子凡, 李伯中, 等. OPGW光缆覆冰监测与纤芯应变分析[J]. 电力信息与通信技术, 2020, 18(10): 48-52.
- CHEN Fang, LI Zifan, LI Bozhong, et al. Analysis on icing and stress monitoring for OPGW[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2020, 18(10): 48-52.
- [21] 李淑蓉, 薛永端, 徐丙垠, 等. 小电流接地故障电弧建模及过电压分析[J]. 电力科学与技术学报, 2019, 34(1): 47-53.
- LI Shurong, XUE Yongduan, XU Bingyin, et al. Arc modeling and overvoltage analysis in non-solidly earthed networks[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2019, 34(1): 47-53.
- [22] 国家建设部. 建筑防雷设计规范:GB50057—2000[S]. 北京:国家机械工业局设计研究院, 2000:2-5.

收稿日期:2021-05-20。

作者简介:

刘倩(1995—),女,硕士研究生,研究方向为电气设备状态监测与故障诊断;

曹雯(1983—),女,博士,副教授,研究方向为电介质与电气绝缘,电气设备状态监测与故障诊断,外绝缘设备放电等;

苗浩铭(1997—),男,硕士研究生,研究方向为电介质与电气绝缘;

杨昊(1988—),男,博士,副教授,研究方向为极端环境下聚合物介质绝缘性能表征与优化技术等;

纪超(1988—),男,博士,研究方向为基于图像处理的绝缘子在线检测等。

(编辑 董小兵)