

城市电网 10 kV 低阻接地系统中 接地变压器零序保护接线方案

徐绍麟

(中南电力设计院,湖北 武汉 430071)

摘要: 为了抑制单相接地时产生的过电压幅值,某些大城市的 10 kV 电网开始采用低阻接地的接线方式。分析了经接地变压器低阻接地方式的城市变电所中,其 10 kV 母线不同位置接地时的零序电流流向以及接地变压器的零序保护逻辑方案,提出采用零序电流方向保护作为主变压器低压侧双分支接线方式的接地变压器零序保护,使保护具有选择性,从而提高了对用户供电的可靠性。

关键词: 低阻接地; 接地变压器; 零序电流方向; 保护逻辑

中图分类号: TM773 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2003)09-0035-05

1 引言

随着电力负荷的迅速增长,城市电网建设正如日中天。由于城市电网规模不断地扩建和延伸,受城区规划、环保和场地等条件制约,市区变电所越来越多地采用电缆馈线,以致 10 kV 系统单相对地电容电流大幅度增加。为抑制单相接地时产生的过电压幅值,一些大城市的 10 kV 电网开始采用低阻接地(接地故障电流约为 400 ~ 600 A)接线方式,以便当 10 kV 系统发生接地时,根据接地点所在位置,由相应零序保护有选择性动作将接地故障隔离,以防电弧重燃引发过电压,保证电网中健全设备安全供电。通常城市变电所主变压器(以下简称“主变”) 10 kV 侧为三角形接线,无中性点引出,为能形成人为中性点经小电阻接地,需配置 Z_N 型接线的接地变压器(以下简称“曲折变”)。

本文就城市电网 10 kV 低阻接地系统中曲折变

零序保护接线方案作些探讨。讨论所依据的主接线图中曲折变和所用变压器分别设置,以减少曲折变的停电几率,保证 10 kV 接地系统稳定运行;并假定系统发生金属性直接接地,各相参数对称;同时忽略电缆馈线的电阻和绝缘泄漏电阻,接地故障时仅计及各段 10 kV 系统单相等效电容对接地电流的影响。

2 110 kV 变电所中的曲折变零序保护

2.1 110 kV 变电所的 10 kV 电气主接线

110 kV 变电所的 10 kV 电气主接线通常采用图 1 单母线四分段接线, # 1、# 3 主变低压侧不带分支直接接于 10 kV 母线, # 2 主变低压侧带双分支各接一段 10 kV 母线。每台主变 10 kV 引线上各设置 1 台曲折变用于引接地电阻。

2.2 曲折变零序保护方案

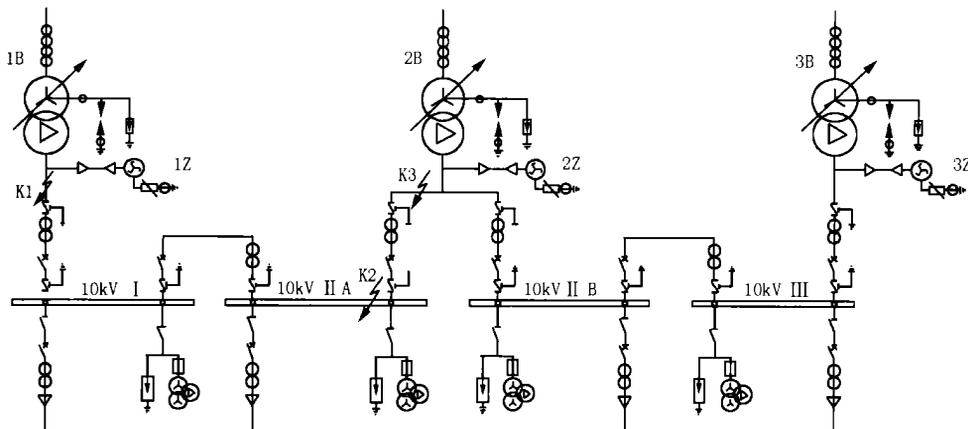


图 1 110 kV 变电所 10 kV 接线示意图

Fig. 1 10 kV connection scheme of 110 kV substation

曲折变的零序保护用于 10 kV 系统单相接地保护,按图 1 中主变 10 kV 侧接线方式,可分为单分支进线的曲折变零序保护和双分支进线的曲折变零序保护两种方案。

2.2.1 单分支进线的曲折变零序保护方案

单分支进线的曲折变只需装设零序过电流保护,保护由接于曲折变中性线电流互感器的过流继电器构成,其动作时限应考虑与 10 kV 馈线的零序过流保护相配合,保护动作后以较短时限跳开 10 kV 分段断路器,并闭锁备用电源自动投入装置;第二时限跳开主变低压侧断路器(根据实际情况也可以不设这段时限);第三时限跳开主变高、低压侧全部断路器。此保护接线简单,动作可靠,能有效隔离故障。当然如单相接地故障发生于图 1 中主变低压侧及其引线 k_1 处,按理此时不必动作 10 kV 分段断路器及闭锁备用电源自动投入装置,只要跳开主变高、低压侧断路器即可将故障隔离,但为了简化保护,允许此处发生接地故障时按母线接地等同处理。

2.2.2 双分支进线的曲折变零序保护方案

对采用双分支进线的 #2 主变,其曲折变零序保护接线方案讨论如下:

(1) 曲折变中性线零序过电流保护方案

此方案沿袭当前普遍通行的设计,保护接于曲折变中性线电流互感器,它与单分支进线的曲折变零序保护方案相同,当 10 kV 系统发生接地故障,保护以较短时限同时动作于 A、B 段分段断路器跳闸,并闭锁各段备用电源自动投入装置;第二时限同时跳开主变低压侧的 A、B 分支断路器;第三时限跳开主变高、低压侧全部断路器。众所周知, #2 主变 10 kV 侧之所以分成 A、B 两个分支是为了提高对用户供电的可靠性,即当 A 段母线 k_2 处发生接地故障或该段馈出线接地且其保护或断路器拒动,只要跳开 A 段分段断路器和分支断路器并闭锁该段备用电源自动投入装置就可将故障隔离,勿需牵及 B 段设备同时跳闸, #2 主变可继续保证对 B 段用户供电。无疑作为双分支进线的曲折变零序保护,本方案保护动作方式不尽人意,没有积极体现电气主接线设计意图,降低了对用户供电的可靠性。

(2) 主变低压侧分支零序过电流保护方案

此方案需在每一分支上装设零序过电流保护,接线也较简单,每段进线的零序过流继电器分别接入主变低压侧各分支电流互感器零序电流接线。图 2 画出了 110 kV 变电所中 10 kV 母线各处短路时的零序等值电路。图中 TA_A 、 TA_B 分别表示由 A、B 分

支电流互感器零序电流接线, R_N 为曲折变中性点接地电阻, C_A 、 C_B 分别为 10 kV 各段馈电系统单相等效电容, U_0 为接地点的零序电压, I_{RN} 为流经曲折变的接地电流, I_{CA} 、 I_{CB} 分别为 A、B 各段馈电系统等效电容提供的接地电流。

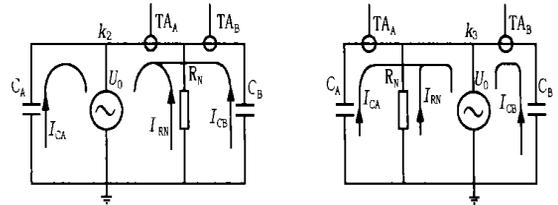


图 2 110 kV 变电站 10 kV 母线系统短路零序等值电路

Fig. 2 Zero sequence equivalent circuit at 10 kV busbar short circuit of 110 kV substation

如图 2(a) 所示,当 A(或 B)段 k_2 处发生接地故障时,各分支 TA 中都有接地故障电流通过,但电流数值大小不同。与接地故障段直接相连的 A(或 B)分支 TA_A (或 TA_B) 中流过的电流为流经曲折变的接地故障电流 I_{RN} 加上另一段馈电系统的电容电流 I_{CB} (或 I_{CA}),与接地故障段不直接相连的 B(或 A)分支 TA_B (或 TA_A) 中流过的电流仅为本段馈电系统的电容电流 I_{CB} (或 I_{CA}),为使保护动作具有选择性,显然各分支零序过流保护整定电流应大于本段馈电系统等效电容提供的接地电流。然而当图 2(b) 中所示 k_3 处发生接地故障,曲折变中通过的接地故障电流已不流经任何分支电流互感器,各分支 TA 中流过的电流仅为本段馈电系统的电容电流,根据以上整定原则,各分支的零序过电流保护不会启动。可知此保护接线原理存在缺陷,根本无法清除 k_3 处的接地故障电流,事实上不能采用。

(3) 零序电流方向保护方案

进一步分析图 2 中的零序电流流向,可以看出流经各分支的零序电流方向将随接地点的不同而改变。即当 k_2 处接地时,与接地故障处直接相连分支零序电流方向指向 10 kV 母线,非直接相连分支的零序电流方向背离 10 kV 母线;而当 k_3 处接地时,各分支的零序电流方向均背离 10 kV 母线。但无论何处接地,曲折变中性线上总有接地电流通过且方向不会改变。因此可采用图 3 所示逻辑构成零序电流方向保护,其中零序电流 I_0 采自曲折变中性线电流互感器,零序方向 P_{0A} (或 P_{0B}) 由各分支电流互感器零序电流接线的 I_{0A} (或 I_{0B}) 和相应母线段的 U_{0A} (或 U_{0B}) 产生,正方向指向各自 10 kV 母线。当 k_2 处发生接地,与接地故障段直接相连分支的零序

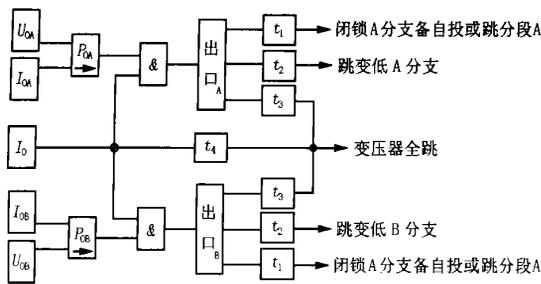


图3 零序方向闭锁的接地保护逻辑

Fig. 3 Earthing protection logic blocked by the zero-sequence direction

方向 P_{0A} 以及曲折变中性线的零序电流会同时动作,经“与”门启动相关保护出口,动作方式与单分支接线的曲折变零序保护相同,但其动作对象仅与故障段设备有关,不会扩大故障停电范围,主变仍能继续对非故障段用户供电。当 k_3 处发生接地时,因为各段馈电系统的电容电流均由 10 kV 母线流向 k_3 处,即 A(或 B)分支中零序电流方向都反向,各段“与”门均被闭锁,但由于曲折变中性线零序过电流

启动,经 t_4 延时后即可全跳变压器高、低压各侧断路器将故障隔离,随后各段母线备用电源自投装置相继动作,由相应主变恢复对 10 kV 负荷供电,从而提高了对用户供电的可靠性。

经对以上各方案讨论可知,为满足继电保护选择性和可靠性要求,有效隔离接地故障,当主变低压侧为双分支进线时,推荐采用零序电流方向保护作为曲折变的零序保护。

3 220 kV 变电所的曲折变零序保护

3.1 220 kV 变电所的 10 kV 电气主接线

220 kV 变电所的 10 kV 电气主接线见图 4。考虑到不致因曲折变故障而影响 220 kV 和 110 kV 系统运行,220 kV 变电所中曲折变接于 10 kV 母线段而不从主变低压侧出线处引接。同时由于 220 kV 变电所每台主变的 10 kV 母线均分成 A、B 两个半段,为保证任何工况下每台主变只接一台曲折变,即只允许一个人为接地点运行,曲折变按奇偶原则分别接于各自主变相对应的 10 kV 母线段上。

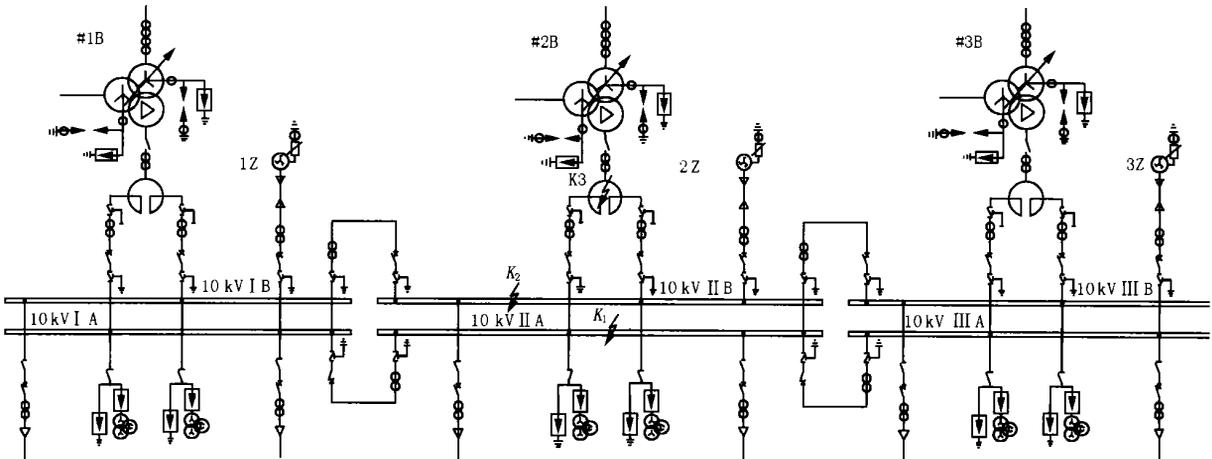


图4 220 kV 变电所 10 kV 接线示意图

Fig. 4 10 kV single line scheme of 220 kV substation

3.2 曲折变零序保护方案

图 4 中 220 kV 变电所各主变接线方式类同,各曲折变的零序保护方案基本一致,故仍以 #2 主变为例。与前面讨论过的 110 kV 主变低压侧为双分支进线的曲折变零序保护一样,若仅在曲折变中性线上装设简单的零序过电流保护,某些情况下当系统发生单相接地时会扩大故障停电范围,以致分段断路器及相应的备用电源自动投入装置不能很好地发挥作用,从而降低了对用户供电的可靠性,因此原

则上 220 kV 变电所的曲折变也需装设零序电流方向保护。但因 220 kV 变电所和 110 kV 变电所的曲折变接线形式有所不同,对此还需作些讨论。图 5 画出了 220 kV 变电所 10 kV 侧不同地点单相接地时的等值电路图,其中图 5(a) 为未接曲折变的母线段单相接地等值电路,图 5(b) 则是接有曲折变的母线段单相接地等值电路,图 5(c) 表示主变低压侧至分支电流互感器引线间单相接地等值电路。图中除 TA_0 表示曲折变中性线上电流互感器外,其他文字

标注与图 2 相同。

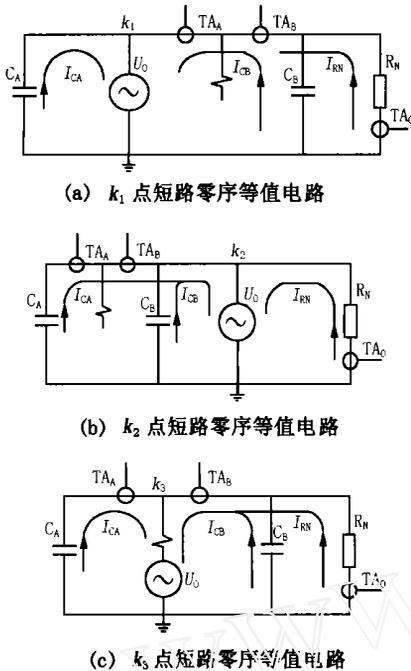


图 5 220 kV 变电站 10 kV 母线系统短路零序等值电路

Fig. 5 Zero sequence equivalent circuit at 10 kV busbar short circuit of 220 kV substation

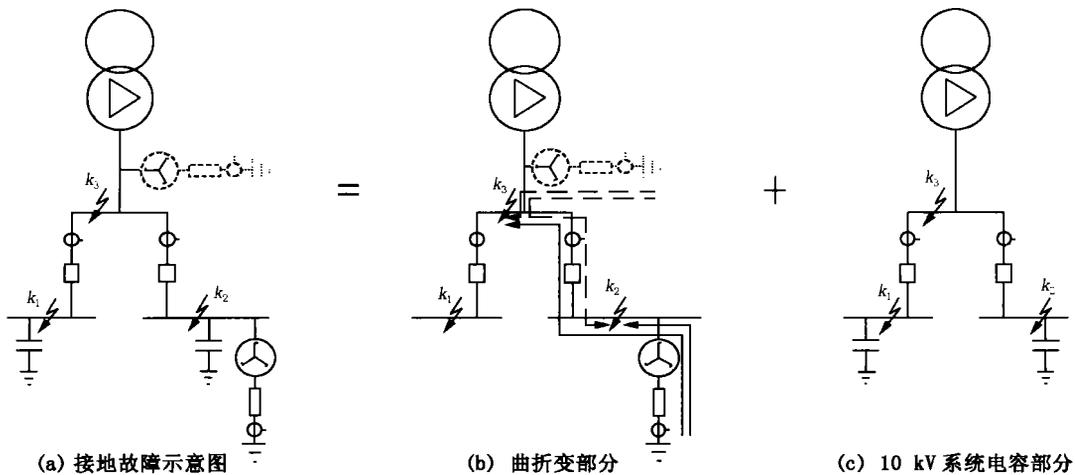
依据图 5,可将不同地点接地时流经各电流互感器一次侧的电流方向列表如表 1。

表 1 各电流互感器一次侧接地电流方向

Tab. 1 Earthing current direction in primary winding of CTs

短路点	TA _A 中电流	TA _B 中电流	TA ₀ 中电流方向
k ₁ (A 母线)	自母线端流出	从母线端流入	由中性端流向接地处
k ₂ (B 母线)	从母线端流入	自母线端流出	由中性端流向接地处
k ₃ (引线)	从母线端流入	从母线端流入	由中性端流向接地处

由表 1 所示电流不难看出,只有 10 kV 母线发生接地且与接地段直接相连的分支其零序电流才自母线端流出,其他情况分支的零序电流均从母线端流入。当设定零序电流自母线端流出的方向为正,则 220 kV 变电所曲折变的零序保护逻辑与图 3 中设计的逻辑完全一致。为进一步阐明问题,可用叠加原理将 10 kV 系统接地时的等值电路分解成曲折变部分等值电路和 10 kV 系统电容部分等值电路(见图 6。图中用虚线表示 110 kV 主变的曲折变及其接地电流)。尽管 220 kV 主变和 110 kV 主变的曲折变接线位置有所不同,但图 6(b)中流经各自曲折变中性线 TA 的接地电流情况相同,与接地处无关,且 k₁ 处接地时流经接地段分支 TA 的零序电流方



注:图中虚线所示曲折变为 110 kV 系统中曲折变接线,实线所示曲折变为 220 kV 系统中曲折变接线

图 6 接地故障等效电路分解图

Fig. 6 The equivalent circuit disassembly of earthing fault

向也相同(为了简化,图中没有画出);当 k₂ 处接地,只有 110 kV 主变的曲折变接地电流流经接地段分支 TA,方向自母线端流出,助增了接地段分支零序方向启动;而 k₃ 处接地,则只有 220 kV 主变的曲折变接地电流流经分支 TA,但其方向从母线端流入,有助于零序电流方向不动作。所以不论曲折变接于何处,曲折变的接地电流不会干扰各分支零序电流

方向正确动作。图 6(c) 则与曲折变接入位置无关,但从图中 10 kV 系统电容电流的流向可知(图中仅表示 k₁ 处接地的电容电流),正是它主导了各分支的零序电流方向。故此 220 kV 主变和 110 kV 主变的曲折变零序电流方向保护逻辑完全相同。

总之,按图 3 设计的保护逻辑方案动作对象确切,不会扩大事故停电范围,能较好地满足用户对供

电质量的要求,适用于220 kV或110 kV主变低压侧为双分支接线的曲折变零序保护。但目前制造厂尚无此相应系列产品,对于微机系列保护,用软件实现上述逻辑并不困难,建议厂家积极开发这一产品以满足市场需求。

此外还需说明,以上分析仅基于金属性接地故障,在制造及运行中应考虑过渡电阻等因素对零序电流方向的影响。另外,电流互感器断线可能使零序电流方向误动,因此尚需考虑电流互感器断线闭锁措施。

4 结论

城市电网10 kV低阻接地系统的曲折变零序电流保护方案归纳如下:

(1) 接于曲折变中性线电流互感器的零序过电流保护方案,接线简单,适用于主变低压侧不带分支(即单分支)接线的曲折变零序保护。

(2) 为了避免10 kV系统单相接地时扩大故障停电范围,提高对用户供电的可靠性,110 kV变电所中当主变低压侧采用双分支接线时,推荐采用零序电流方向保护作为曲折变零序保护方案。

(3) 220 kV 变电所的曲折变也推荐采用零序

电流方向保护作为10 kV系统接地故障保护,以缩小接地故障停电范围,保证供电可靠性。

(4) 本文讨论的220 kV和110 kV主变低压侧为双分支接线的曲折变零序电流方向保护逻辑完全相同,其中零序电流采自曲折变中性线电流互感器,零序方向则由流过各分支电流互感器零序电流接线的电流和相应母线段的零序电压构成,方向指向各自10 kV母线。

(5) 建议厂家积极开发适合城市电网10 kV低阻接地系统的曲折变零序保护产品,以满足市场对保护选择性提出的要求。

参考文献:

- [1] 李润先. 中压电网系统接地实用技术[M]. 北京:中国电力出版社,2002.
- [2] 范迎青,高文逸. 6~10 kV 电网中性点经中电阻接地的单相接地保护[J]. 电力自动化设备,2000,20(1):12-14.

收稿日期: 2002-12-19

作者简介:

徐绍麟(1939-),男,教授级高工,从事发电厂、变电所电气二次接线设计工作。

Discussion on protection scheme of earthing-transformer in city's 10 kV power network utilizing low earthing resistance mode

XU Shao-lin

(Central Southern China Electric Power Design Institute, Wuhan 430071, China)

Abstract: For suppressing the over-voltage caused by a single-phase to ground fault, the low earthing resistance mode utilizing an earthing-transformer is adopted in some of large cities. The direction of zero-sequence current and the protection logic of the earthing-transformer are discussed in this paper while the earthing fault takes place at any of 10 kV bus sections in city's substations. The protection scheme based on the direction of zero-sequence current is introduced for the earthing-transformer located at low-voltage side of the main transformer with dual-branches, so as to get higher power supply reliability.

Key words: low earthing resistance; earthing-transformer; direction of zero-sequence; protection logic

(上接第34页)

作者简介:

贺敏(1972-),女,工程师,从事电力系统继电保护和变电站综合自动化的工程设计与开发工作;

陆于平(1962-),男,教授,从事电力系统微机保护,尤其是主设备保护的教学和研究工作;

宋斌(1968-),男,高级工程师,从事电力系统继电保护研究与开发工作。

Application research of optical fiber differential protection used in medium-low voltage shorter transmission line

HE Min¹, LU Yurping¹, SONG Bin², XIANG Xianzheng²

(1. Southeast University, Nanjing 210096, China; 2. Nanjing Automation Research Institute, Nanjing 210003, China)

Abstract: This paper first reviews and analyzes the status of differential protection used in shorter transmission line, studying asynchronous communication for optical fiber differential protection, comparing sensitivity of complex current relay to common current relay under different fault types, analyzing characteristic of compound differential relay to traditional differential relay under different short circuit current. Then, it represents the compound differential protection scheme used in complex current, which applied to shorter transmission line in middle or lower voltage power system. This scheme can improve sensitivity of protection, and make it possible to asynchronous communication for optical fiber differential protection, and reduce cost of protection set.

Key words: shorter transmission line; asynchronous communication; differential protection; optical fiber