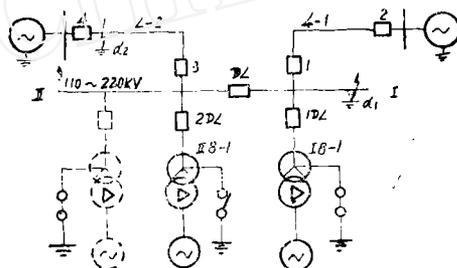


一种变压器零序保护的新方案

湖南大学邵阳分校 胡延龄

在中性点直接接地电网中，接地短路常常是故障的主要形式。因此，一般要求在变压器上装设接地零序保护作为变压器本身主保护的后备保护和相邻元件接地短路的后备保护。

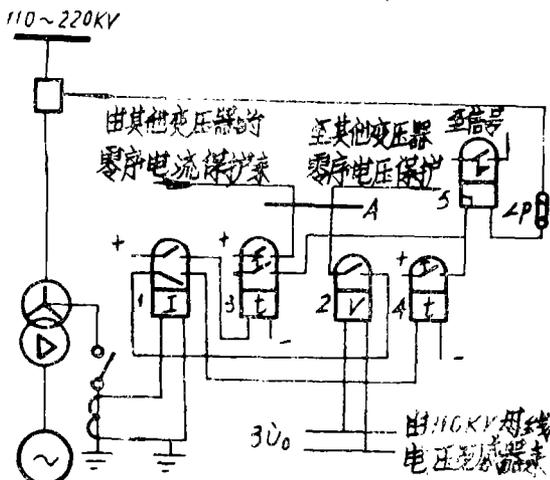
当发电厂或变电所有两台以上变压器并列运行时，通常采用一部分变压器中性点接地，而另一部分变压器中性点不接地的运行方式。图一为一采用单母线分段接线的低压侧有电源的变电所，分级绝缘变压器 I B—1 中性点接地运行，II B—1 中性点不接地运行。正常运行时分段开关 DL 在投合状态。现以图一的接线来分析比较目前变压器零序保护采用的两种方式，指出其不足，在此基础上提出一种变压器零序保护的新方案。



图一 变电所变压器中性点部分接地运行方式

对第一种方式：当 I 段母线 d_1 点发生接地故障时，为避免不接地变压器 II B—1 中性点过电压，变压器零序保护动作时，首先

断开中性点不接地的变压器 II B—1，再断开中性点接地的变压器 I B—1。保护由零序电流元件和零序电压元件两部分组成，其原理接线如图二所示。这种保护方式的不足首先在于某些故障情况下（如 d_1 点故障），导致切除变电所全部变压器，扩大了故障影响范围，若一旦造成大型变电所的多台变压器供电中断，对生产带来的损失是重大的，甚至对系统安全运行的影响也是严重的。其次是如图二所示的保护接线使得各台变压器的保护互相牵连，当变压器台数越多时，接线复杂，容易误动作。



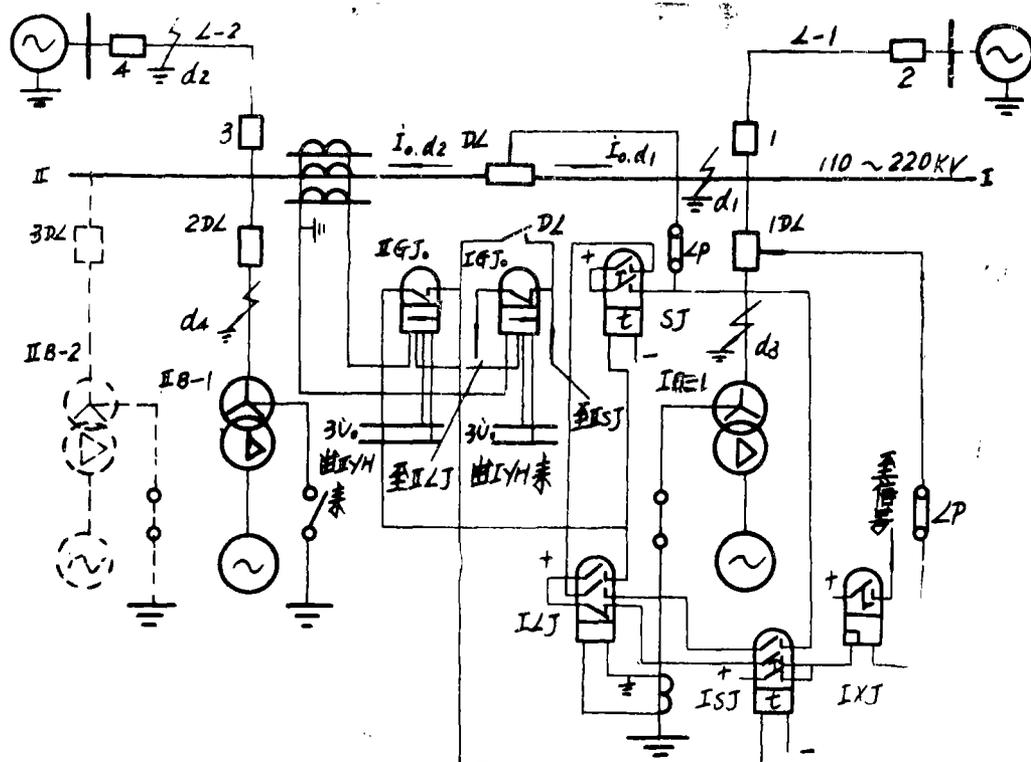
图二 部分变压器中性点接地运行的零序保护

对第二种方式：无论故障是发生在 I 母线一侧，还是 II 母线一侧，为缩小故障影响范围，变压器零序保护动作时，总是以较

小的时限首先断开分段(或桥联或母联)断路器DL,使非故障的一侧继续运行。采用这种保护方式的一个明显不足是在某些情况下,变压器有过电压而招致损坏的危险。例如,当出线L~2的对端 d_2 点发生接地故障,若保护4瞬时动作跳闸,保护3拒动,当DL先跳闸以后,Ⅱ段母线一侧便成为一个非直接接地系统,并带接地故障 d_2 点继续运行,这将导致ⅡB—1中性点过电压,这是不符合《规程》要求的。其次是, d_2 点故障时,按选择性的要求应该是保护3.4动作切除故障。可是若因DL过早的跳闸,如0.5秒时限内,将使得保护3还未来得及动作时,线路L—2本侧的接地中性点已被DL切除,保护3的零序Ⅲ段,甚至Ⅱ段就无法动作。这就人为地造成保护3拒动,不得不由变压器零序保护动作切除故障,同上所述,使变压器ⅡB—1遭受一次人为的过电压,使Ⅱ段母线一侧供电中断,不应有地扩大了故障影响范围。

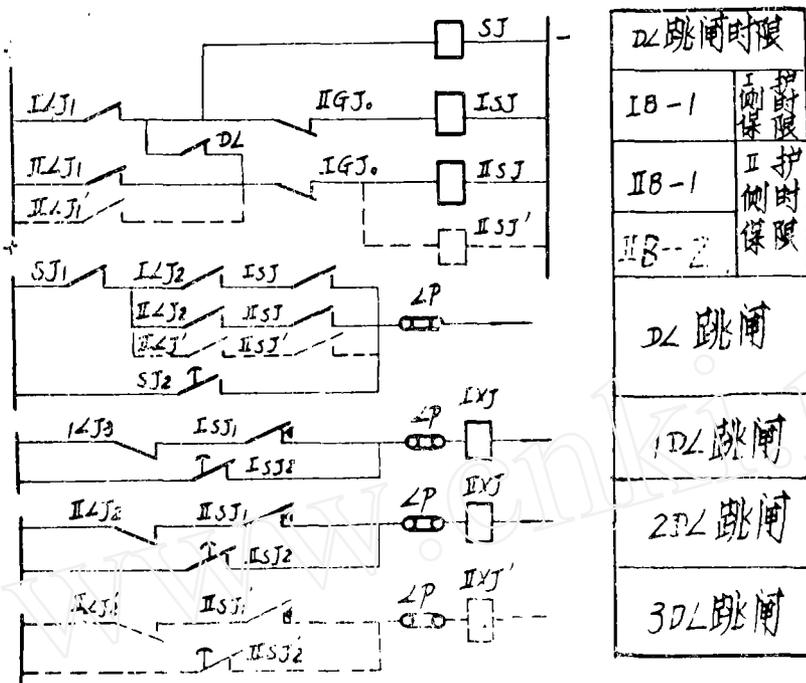
由以上的分析比较,有必要对目前变压器接地零序保护进行改进,取以上两种保护方式之长,剔其短,保护动作时,既要尽可能少切除变压器,缩小故障影响范围,又要防止过电压造成对变压器的损坏。改进后的变压器零序保护接线如图三所示。该保护可分为两部分;一是公共部分,包括时间继电器SJ,用以建立DL的两段跳闸时限 t 、 t' 另外还包括两个零序功率方向继电器,用来判别零序功率的方向。

ⅠGJ₀、ⅡGJ₀共用一个零序过滤器,其电流线圈彼此反极性接入。另一部分是零序电流保护部分。变压器ⅡB—1的保护包括:电流继电器ⅠLJ,作为保护的起动测量



(a) 原理接线图

图三 改进后的变压器零序保护接线图



(b) 展开接线图

图三 改进后的变压器零序保护接线图

元件；时间继电器 I SJ，用以建立 I DL 的两段跳闸时限 t_1 、 t_2 ；另外还包括信号继电器 I XJ。其他变压器，如 II B-1 的保护与 I B-1 相同，各继电器以 II LJ、II SJ，II XJ 表示。

现结合图三 (a) 一并示出的系统接线，并以图三 (b) 的展开接线图对这种改进后的保护进行分析；

正常运行时，DL 处合闸状态，其常开辅助触点 DL 在闭合状态。正常运行状态下不出现 $3 \dot{U}_0$ 和 $3 \dot{I}_0$ ，各继电器都不动作，各断路器都不跳闸。

当 I 段母线一侧的 d_1 点发生接地故障时，高压母线电压互感器 I YH、II YH 出现 $3 \dot{U}_0$ ，变压器 I B-1 的中性点将流过 $3 \dot{I}_0$ ，继电器 II LJ 不起动，I LJ 动作，其常开触点 I LJ₁ 闭合，SJ 励磁。零序电流 \dot{I}_{0d1} 自 DL 流向。故障点 d_1 如规定零序功率的正方向由 DL 指向故障点，按图示的接线，则 I GJ₀ 动作，其常闭触点打开，断开了 II SJ 的励磁回路，即闭锁了 II 侧变压器的零序保护；同时 II GJ₀ 必定不动作，其常闭触点仍在闭合状态，使 I SJ 励磁。由于故障一侧有中性点接地的变压器 I B-1，这时以极小的时限，如 0.5 秒时限首先断开 DL，对维持非故障一侧的正常供电是有利的。DL 断开后，故障一侧的保护应使得先断开中性点不接地的变压器，后断开中性点接地的变压器。DL 的跳闸通过 SJ 的滑动触点 SJ₁，常开触点 I LJ₂、ISJ₀ 起跳开 DL，使 II B-1 免于切除，使非故障的 II 母线侧继续运行。1 DL 的跳闸有两段时限 t_1 、 t_2 。I SJ 励磁，I SJ₁ 以 t_1 时限先闭合，但被 I LJ₂ 断开了其跳闸回路；I SJ₂ 以 t_2 时限后闭合，使 1 DL 跳闸，切除故

障,各继电器返回。当Ⅱ母线一侧系统没有接地中性点的运行情况下, d_1 点故障, $I_{0..d_1} = 0$, I—ⅡGJ₀均不动作,两个时间继电器 I—ⅡSJ同时励磁,这并不影响故障一侧保护的正常动作。同时只要ⅡSJ的两段时限 t_1 、 t_2 比 t' (0.5秒)高出一个时间阶梯的话,也不会误跳 2 DL,因为DL先跳开以后,其辅助常开触点打开,ⅡSJ失电返回。

当Ⅱ母线一侧 d_2 点发生接地故障时,为避免ⅡB—1过电压,保护动作时应先断开中性点不接地的变压器ⅡB—1,后断开中性点接地的变压器和DL。同时为不影响保护3动作的选择性,DL的跳闸时限还须与保护3的零序过流保护的时限相配合。故障情况下,由于出现 $3\dot{I}_0$ 、 $3\dot{U}_0$,继电器ⅡLJ仍不起动。ⅡLJ起动,SJ励磁, $I_{0..d_2}$ 自DL流向故障点,ⅡGJ₀必定起动,其常闭触点打开,闭锁Ⅰ侧保护;相反,ⅠGJ₀必定不动作,其常闭触点在闭合状态,使ⅡSJ励磁,其滑动触点以 t_1 的时限闭合,经常闭触点ⅡLJ₃先跳 2 DL。由于ⅠSJ、ⅡLJ均未起动,其常开触点ⅡLJ₂、ⅠSJ断开了SJ₁ (0.5秒)的跳闸回路,故DL只能由SJ₂以 t 时限跳闸,最后将故障切除,避免了变压器ⅡB—1过电压,使非故障的Ⅰ侧继续运行,缩小了故障影响范围。

同样的方法,可分析变压器ⅡB—1中性点接地,ⅠB—1中性点不接地运行时, d_1 、 d_2 外部故障亦能得出同样结论的情况以及 d_3 或 d_4 内部故障只切除变压器ⅠB—1或ⅡB—1的情况。

当Ⅰ、Ⅱ段母线分开运行时,从维持系统正常运行的角度出发,变压器ⅠB—1、ⅡB—1的中性点务必分别接地运行。这时辅助常开触点DL处于断开状态,Ⅰ—ⅡGJ、触点处于常闭状态。在这种运行方式下, d_1 或 d_2 故障时,ⅠSJ、或ⅡSJ励磁,以 t_2 时限跳开 1 DL或 2 DL。

当一段母线上有两台及以上变压器,且每段母线上至少保持有一台变压器中性点接地运行时,保护的接线应使得同段母线上各变压器保护的电流元件的一对常开触点并接;另一对常开触点与时间元件的一对瞬动常开触点串接再共同并接;时间元件的线圈并接;各变压器的跳闸回路仍各自独立。例如在Ⅱ段母线上增加一台变压器ⅡB—2的话,如图三(a)虚线所示,其零序保护各继电器的符号以加“'”表示,如图三(b)的虚线所示。不难分析,不管故障发生在分段开关DL的哪一侧,总是由故障侧的保护以 t' 的时限起动DL首先跳闸,使非故障一侧变压器继续运行,故障一侧的保护按先断开中性点不接地的变压器,后断开中性点接地的变压器的原则切除故障。

当系统不同地点发生接地故障时,为满足保护动作选择性的要求,整套保护动作时限的配合,整定应使得:

$$t' = 0.5 \text{秒注}_1 \quad t_1 = t_{0.} + 0.4 \text{秒注}_2 \quad t_2 = t_1 + \Delta t$$

$$t = t_{0.} + 0.6 = t_1 + 0.2 \text{秒}$$

式中, $t_{0.}$ ——高压母线出线零序过流保护的时限。

$t_1 t'$ ——DL的两段跳闸时限。

$t_1 t_2$ ——变压器零序保护的两段跳闸时限。

由以上时限配合关系, t_0 和 t_1 实际上是整定在同一个时限阶梯,这主要是考虑到 t 的时限拾得太高会影响线路对侧保护 2、4 零序过流保护的正常速度;但 t 和 t_1 又必须

有一定的时限级差,以便当 d_2 点故障时,能满足先断开中性点不接地的变压器ⅡB-1,后断开DL的要求。在这里,考虑到两个时间元件实际上是由同一个电流元件起动的, t 和 t_1 有0.2秒的时限级差是可以满足上述要求的。

由以上的分析,DL可看作是一台假想变压器B的高压侧断路器,当 d_1 点故障时,B被当作中性点不接地的变压器以 $t' = 0.5''$ 时限先切除;当 d_2 点故障时,B被当作中性点接地的变压器以 t 时限后切除;当Ⅰ、Ⅱ段母线上都有中性点接地的变压器时,B被当作中性点不接地的变压器以 t' 时限先切除。DL的这种动作特性正好说明这种形式的保护在性能上的优越性,在运行上的灵活性。

关于零序电流元件起动参数的整定计算,可参考有关书籍、资料、在此不再述及。

与目前变压器零序保护不同的是,该保护采用了零序功率方向继电器。在故障情况下,只要其接线正确,ⅠGJ₀、ⅡGJ₀的动作是干脆、可靠的,其动作行为是彼此对立的,故它们对保护的起动和闭锁也是干脆、可靠的。正常运行情况下,即使受某种影响而误动作(即常闭触点打开),也不会引起保护误动。因为该保护仅反映中性点回路的 $3\dot{I}_0$ 而动作。正因为如此,保持接线中采用功率方向继电器的常闭触点是较为合适的。可是产品目录上查不到这种带常闭接点(或转换接点)的功率方向继电器。不过可以认为,只要这种形式的保护接线是可取的话,解决其常闭触点的问题是不足为难的。

这种变压器接地零序电流保护有以下几方面的特点:

1. 保护动作时,即能满足缩小故障影响范围,又能可靠防止不接地变压器中性点过电压的要求;

2. 该保护没有电压继电器和中间继电器,继电器总的数量减少,使接线简单,并且十分清晰。各变压器的保护互相独立,互无牵连。这一点对有多台变压器并列运行的发电厂或变电所显得尤为明显;

3. 适应性广,运行灵活,该保护适应于普遍采用分段接线,桥形接线、双母线接线的发电厂或低压侧有电源的变电所的分级绝缘变压器。在运行上,不管变压器接地中性点的运行方式如何改变,不管分段(桥联、母联)开关的运行方式如何,不管变压器的投入或退出,也不管各段母线上接地中性点的增多或减少,整套保护均可适应,不需要改变保护的任何接线和任何元件,仍可保证其正常工作;

4. 该保护仅反映零序电流,整定计算简单,保护采用的接线和元件都是经过长期实践检验被认为是可靠的,故可以认为这种保护的动作可靠性也是好的。并且从原理上讲,它不受过负荷,系统振荡,非接地相间短路的影响。

当 d_4 点内部故障时,应只切除变压器ⅡB—1。由于 t 和 t_1 只有0.2秒的时限差,2DL跳闸后,DL也可能跳闸。若再抬高 t 的一级时限,是可以解决这个问题的,但如前所述,这是不可取的。这是一个矛盾,也是这种保护的不足。

注:①参见《高压电网继电保护运行技术》东北电业管理局技术改进局王梅义等著,电力工业出版社出版;《电力变压器保护》陈曾田著,电力工业出版社出版

②参见《电力系统继电保护原理与运行》华中工学院编,电力工业出版社出版。