「电力系统」

西门子继电保护在工业中的应用

文／电力自动化研究院南京中德保护控制系统有限公司　张志栋　张　进

微机继电保护的优越性体现在许多方面，它不仅具有保护功能，还具有极为强大的通信测控功能，极大地减少了维护人员的工作量及维护时间。现在微机保护已广泛应用于石化、钢铁和煤炭等行业，随着继电保护的发展，它将在工业领域发挥越来越大的作用。

近十多年来，西门子保护和微机型安全自动装置在电力系统得到普遍的使用，在石油、化工和钢铁等行业有了不少的应用。由于其技术的成熟，保护装置性价比的提高，西门子保护在各类企业中已得到普遍应用。

工厂供电系统中用到的各类微机保护，例如主变压器保护、线路保护、高压电动机保护、配电变压器保护、电容器保护、电抗器保护及发电机保护等均已有成熟的微机保护装置和成熟的运行经验。下面以几个和电磁式保护在性能上有较大不同的装置为例作一简单介绍。

主变压器差动保护

下面以西门子的7UT512(513)及7UT612(613)为例介绍西门子差动保护的特点。

1. 集成矢量组合

对于Y，d接线的变压器一二次电流的相位差不必通过改变互感器的接线方式解决，而是由装置的软件解决，电流互感器与装置之间均采用星形连联结。

2. TA变压比的比例匹配

由于高低压侧电压不同，电流也不同，TA的电压比很难正好选得等于变压器的电压比，因此总会产生不平衡电流，并由此增大差动保护的整定值，降低灵敏度。微机保护由软件保证TA电压比的比例匹配，从而提高了灵敏度。

3. 比率差动和差动速断

保护特性如图1所示。

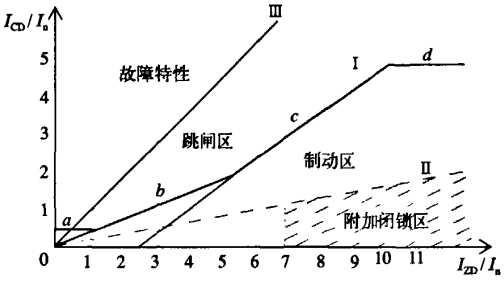

图1　差动保护的动作特性曲线

图1中，曲线Ⅰ是7UT差动保护的制动特性，其横坐标为制动电流I_{ZD}，$I_{ZD}=|I_{12}|+|I_{22}|$，即制动电流取高低压侧电流互感器二次电流绝对平均值(国产的装置常取为$((|I_{12}|+|I_{22}|)/2)$，纵坐标为差动电流I_{CD}，$I_{CD}=|I_{12}+I_{22}|$，即差动电流为高低压侧二次电流之和的绝对值。图中，a、b、c、d为动作特性，正常运行和穿越性短路时，$I_{ZD}>>I_{CD}$保护不动作。内部故障时，$I_{ZD}\approx I_{CD}$，即工作于跳闸区的故障特性上，装置灵敏动作。

通常变压器各侧的接线是不同的，各侧的相电流之间存在相位差，由于接入差动保护装置的电流互感器一般为星形接线，故差动保护装置测到的电流也有相位差，由于差动电流是各侧电流的矢量和，因此差动保护装置用软件算法来调整高低压侧的相位差，通常把高低压侧或中压侧的电流用矢量变换矩阵加以转换，然后按差动电流计算法则计算。例如，对于一高压侧Y形接线，低压侧为三角形接线变压器，如果采用5点钟接线，首先需利用该变压器的容量及高低压侧的额定电压及TA电压比分别计算出高低压侧的额定电流，实际加在装置高低压侧的A，B，C相电流需通过额定电流转换成标么值，然后针对匹配矩阵加以调整，主变高压侧矩阵如下式所示

万方数据

$$\begin{pmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{pmatrix} = 1 \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{L1} \\ I_{L2} \\ I_{L3} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \times \begin{pmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{L1} \\ I_{L2} \\ I_{L3} \end{pmatrix}$$

上式中，左侧矩阵针对主变高压侧中性点零序电流不做处理的情况，适用于差动保护范围内无变压器中性点接地或无其他人为中性点接地情况的矩阵；右侧矩阵则针对主变高压侧中性点作零序电流处理的情况，适用于差动保护范围内变压器中性点接地情况的矩阵。图中，I_A、I_B、I_C为继电器实际参与差动电流与制动电流计算的各相电流标幺值，而I_{L1}、I_{L2}、I_{L3}为外部输入的二次电流向量(标幺值)，在7UT差动保护内即将实际加入的电流转换为高低压侧可比较的矢量电流，进而计算出差动和制动电流。

4. 附加闭锁特性

图1中，曲线Ⅱ所包围的阴影部分为附加闭锁区，装置可以设置当工作点进入附加闭锁区时使差动保护暂时闭锁几个周波，其作用是防止差动保护两侧的电流互感器在通过穿越性短路时在暂态过程中可能出现的较大的不平衡电流造成差动保护误动。

图2所示为穿越性短路电流在电流互感器中产生的励磁电流及不平衡电流。由图可见，暂态过程的不平衡电流将超过稳态的好几倍，而制动特性的斜率一般总是按躲过最大穿越性短路时的稳态不平衡电流来整定的(其中考虑电流互感器的10%误差和变压器调压而产生的不平衡电流)，显然，当暂态不平衡电流较大时，工作点将处于制动特性上方的动作区，致使差动保护误动。两侧互感器特性差异越大则暂态不平衡电流也越大，差动保护误动的可能性也越大，因此，差动保护中一般尽量采用型号相同、磁化特性一致，铁心截面较大的高精度的电流互感器，必要时还可采用铁心磁路有气隙的电流互感器，以尽量减少暂态过程的不平衡电流。即使这样，误动情况仍难以完全避免。

7 UT装置中附加闭锁的原理是：在穿越性短路的最初阶段，电流互感器铁心尚未饱和，励磁电流的最大值和不平衡电流的最大值尚未出现，而此时电流互感器二次电流已较大，但此时互感器的线性较好，误差较小，由此形成的制动电流较大，而差动电流很小，即工作点将落到附加闭锁区内，装置检测到工作点在附加闭锁区内则按照预先的设定将差动保护闭锁若干周波(例如4～8个周波)以躲过不平衡电流的最大值，闭锁结束时，不平衡电流已减小，装置就不会误动。如果闭锁期间在保护范围内发生故障，此时差动电流和制动电流相等，工作点将落在图1中的特性Ⅲ上，装置监测到工作点连续两个周波在特性Ⅲ上会自动解除闭锁，保护动作，切除故障。

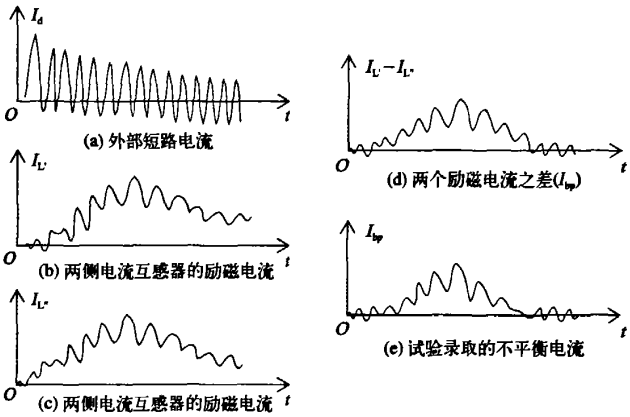

图2　外部短路暂态过程中电流互感器的励磁电流及不平衡电流波形

图2中，I_d、$I_{L'}$、$I_{L''}$ 均为折合到电流互感器二次电流。

这一功能在工程中已经过实践验证，如某厂一台大型电动机采用7 UT差动保护装置，电动机起动时多次发生差动保护误动，经分析可能由于互感器特性的差异而在起动时产生了较大的暂态不平衡电流，在设置了附加闭锁功能后起动就正常了。

5. 空载励磁涌流的二次谐波制动

为防止空载投入时保护误动，国内外一般的做法是采用二次谐波制动，也有的采用波形间断角原理。通常二次谐波制动是按相工作的，二次谐波含量高于限值的相被制动，二次谐波含量低于限值的相依然可以动作。因此只要有一相符合动作条件，继电器即发出跳闸命令。可以设想，若涌流出现时有两相电流都超过差动起动值，而其中仅有一相二次谐波含量超过限值而制动，则另一个二次谐波含量低于限值的相因无制动作用而可以引发跳闸。为避免此类误动，西门子提供了二次谐波交叉制动的功能，即二次谐波不仅对本

万方数据

相起制动作用，对其他相也起制动作用，只要有一相检测出涌流，三相都闭锁。制动作用是通过设定出现前述情况后保护闭锁多少个周期来实现的。

但是，设定交叉制动也有其不利的一面，如变压器空载投入到区内预伏故障上时，无论涌流和/或故障发生在哪一相，保护动作时间都会延迟前述设定周期数，从保护速动性的角度来讲，这也是难以接受的。因此，是否投入交叉制动功能以及制动多少个周期需根据实际工程的情况具体分析而定。西门子提供的缺省设定为0周期，即不投入此功能，在变压器空投困难时，也可根据装置自身录取的故障波形确定一个适当的闭锁周期数，前提是变压器投运前经检查无误。

小电流接地系统的灵敏接地保护

我国的635 kV系统大多属于中性点不接地或经消弧线圈接地的系统。对于中性点不接地系统，系统接地电容电流较大时，其单相接地保护采用常规的零序电流保护或零序方向保护都可有较好的效果。但当接地电流较小，只有几安甚至小于1 A时，或是由于接地电流超过规定值而装设消弧线圈后，许多单相接地保护装置的效果往往不好。西门子微机保护中的灵敏接地保护原理新颖，效果较好。

西门子的灵敏接地保护不设集中的选线装置，而是配置在分散的保护测控单元中。7SJ512、7SJ531及用来取代它们的7SJ62、7SJ63等装置，除了有一般的零序电流保护外都还有灵敏接地保护功能。它既可用于中性点不接地系统，也可用于中性点经消弧线圈接地的系统。

图3是中性点不接地系统单相接地故障时的电流分布和电流电压相量图。

由图可见，单相接地后，非故障线路出现零序电流$3I_0$，故障线路出现$-\Sigma I_0$(不包括故障线路本身的$3I_0$)而$3I_0$超前$3U_{090°}$，$-\Sigma 3I_0$滞后$3U_{090°}$(这是理想情况，实际情况一般$3I_0$超前$3U_{070°}$左右，$-\Sigma 3I_0$滞后$3U_{0110°}$左右)。西门子的灵敏接地保护使用的基本原理是零序功率方向保护，其高明之处是对于功率方向的判定充分利用微机保护数字计算的长处，通过功率来确定零序电流和零序电压的相位关系，根据零序功率的正负来区分故障和非故障线路。对于中性点不接地系统，设置为测接地无功功率，由图3可见非故障线路的接地无功功率将是负的，而故障线路的将是正的，由此十分明确地区分了故障和非故障线路。对于经消弧线圈接地的系统，其接地电流的分布和电流电压相量图如图4所示。由于消弧线圈的接入，故障线路有$3I_0=-\Sigma 3I_0-I_L$，其中I_L将随补偿度而变化，图中所示为过补偿情况，由图可见，故障和非故障线路的接地无功功率都将是负的，从而无法区分。为此，对于经消弧线圈接地的系统可预设置为测定有功接地功率。这样，不论补偿度的大小，故障和非故障线路的接地有功功率总是正负相反的和易于区分的。

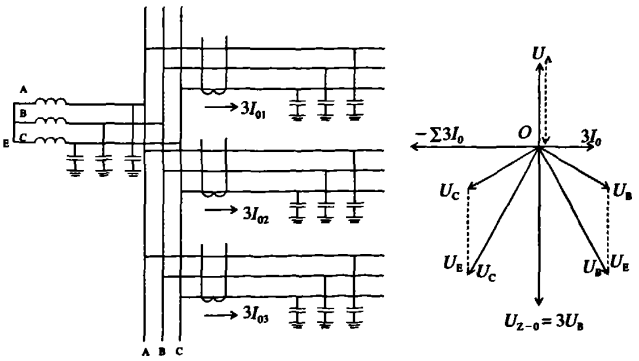

图3 中性点不接地系统中单相接地时电流电压分析

西门子灵敏接地保护装置中还采用了灵敏的小电流互感器，在检测到$3I_0$和$3U_0$达到整定值后再判定方向，确定故障线路。需要注意的是，国内生产的零序电流互感器大多是没有明确的电流比的，而为了确保灵敏接地保护装置能合理整定和正确动作，建议应选用有明确电流比的零序电流互感器，根据接地电容电流可能的数值范围和西门子灵敏接地保护的整定范围，一般选用100/5的电流比较合适。

下面以兰州石化60万t乙烯改造工程为例介绍西门子保护在工业企业中的具体应用，该工程有2条110 kV进线，采用2回110 kV电源进线双母线接线方式，110/10 kV变压器组3台，110/6 kV变压器组3台，26条出线，进线及主变保护集中组屏安装在总控制室，10 kV(6 kV)保护分散安装在低压开关柜上,所有保护通过RS485方式连接到通信层，以太网方式与主机进行通信。

进线及出线保护用7SJ62来实现，该保护可实现过电流、速断、重闭合、小电流接地、复压闭锁、过电压/欠电压、零序过电流和过负荷等保护功能，并且在装置内可实现5S故障录波，故障事件记录功能，能满足进线及出线的保护及测控要求。针对6台变压器组配置6台7UT612差动保护，它可实现主变的比率制动及差动速断保护功能，

(下转第98页)

万方数据

2. 误判故障相别，造成相间短路

如果供电公司客户端装有故障相接地消弧装置，当系统发生单相接地时，故障相接地消弧装置误判故障相别，如A相发生了单相接地，而故障相接地消弧装置判断为B相或C相接地，将B相或C相真空断路器闭合，将造成新的相间接地短路。

如果是安装故障相接地消弧装置的客户线路单相接地，将仅造成该客户线路停电，若该条线路有多家用户时，则均会造成停电。

如果非安装故障相接地消弧装置的客户线路单相接地，将造成2条线路停电。

如果多个客户端装有故障相接地消弧装置，只要其中一个故障相接地消弧装置判相错误，就会造成故障线路，所有客户端装有故障相接地消弧装置的线路全部停电。

3. 装置存在的其他问题

1) 采用故障相接地法的消弧装置不能用于对地电容电流>30 A的系统。

由于对地电容电流>30 A的系统，发生单相金属性接地时，健全相的工频电压也会很高，系统无法承受。

2) 直配高压电动机的变电所不能使用采用故障相接地法的消弧装置。

一旦电动机绕组发生单相接地，采用故障相接地法的消弧装置动作后将短接一部分电源，导致短路电流高达几千安乃至几十千安，将烧坏电动机绝缘和定子槽，造成电动机报废。

3) 小容量变压器的变电所不能使用采用故障相接地法的消弧装置。

如果变压器绕组发生单相接地，本来油浸式变压器的拉弧可自愈，不会造成事故，但采用故障相接地法的消弧装置动作后等于短接一部分电源，短路电流也可达几千安乃至几十千安，从而烧坏变压器绝缘造成事故。特别是小容量的10 kV/0.38 kV的变压器，本身只有配备气体保护，一旦绕组发生单相接地，采用故障相接地法的消弧装置动作后短接一部分电源，近似于发生匝间短路，微机保护又不会动作，只靠气体保护动作，若动作时间过长将会造成很大的事故。因此，采用故障相接地法的消弧装置只能用于线路消弧，但是许多输电线路总是与变压器或电动机相连接的。

4) 有树障的架空线路不能采用故障相接地法的消弧装置。

对于有树障的架空线路，假如树枝接触A相而故障相接地法消弧装置动作将A相接地，当风再一吹使树枝接触B相或C相，就会发生相间接地短路，此时，故障相接地法消弧装置不仅不能消弧，还会造成线路跳闸停电。EA

(收稿日期：2009.02.19)

(上接第94页)

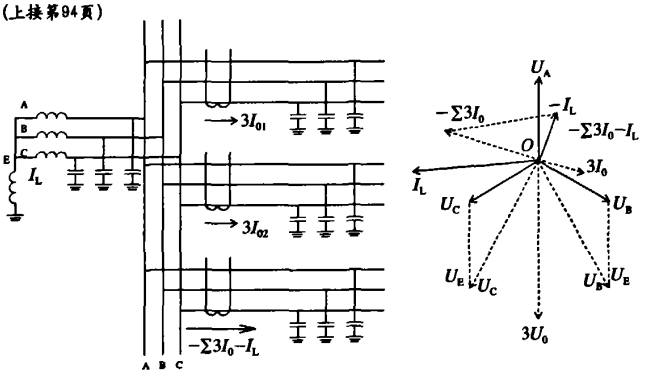

图4 消弧线圈接地系统中单相接地时电流电压分析

可实现主变空载励磁涌流的二次谐波制动，并可防止外部故障时电流互感器饱和导致误动的附加闭锁特性保护，其动作原理已在前面进行了介绍，为增加保护的可靠性，再针对每台主变高低压侧分别配置2台主变后备保护，当出现变压器外部故障或差动保护拒动时，此后备保护会及时将故障切断，保证主变的安全。该站所有保护都严格遵循IEC标准，辐射电磁场抗扰度试验和快速瞬变电脉冲群抗扰度试验都达到4级标准。

由于所有保护都配置有通信接口及基于IEC60870标准的通信协议，该站西门子保护都可与变电站主机进行通信，可将测量及信号数据传送至主机，值班人员在主机上可了解变电站各个间隔的运行情况及运行数据，同时由于装置及通信协议支持接收主机的遥控命令，所以值班人员在主机上可对各个进线及馈线间隔开关进行遥控操作，这极大地减少了值班人员劳动强度，同时也可使运行维护人员及时了解电站情况。如果某个保护装置出线异常，该装置内的异常继电器将动作，远方主机上会及时显示装置异常信号以便于查找原因。EA

(收稿日期：2009.02.18)

(栏目编辑：崔文静)

万方数据

西门子继电保护在工业中的应用

作者： 张志栋， 张进
作者单位： 电力自动化研究院南京中德保护控制系统有限公司
刊名： 电气时代
英文刊名： ELECTRIC AGE
年，卷(期)： 2009(5)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_dqsd200905026.aspx