

变频器隔离变压器实现差动保护的方法

隔离变压器是多绕组、特殊接线组别的变压器，因为电流采集的瓶颈制约，实现差动保护很困难。针对某LNG液化工厂的隔离变压器差动保护实现问题，探讨通过合理的电流叠加，既达到减少二次电流回路数，又等效出常规接线组别的方法，实现了二次电流的正确采集；通过考察国内外微机差动保护，选择 T_{35} 保护装置作为主保护，并介绍了如何对保护装置的绕组定值进行设置。

刘艳峰 王新究 田洪洪/中国石油工程建设有限公司华北分公司电气自控室

0 引言

某大型LNG液化工厂混合制冷剂循环压缩机组由变频装置供电，变频装置为ABB公司ACS5000型，由1台10 kV/ $6 \times 1\ 980\text{ V}$ 、32 628 kV·A隔离变压器提供动力，隔离变压器也称整流变压器，它是一种特殊的变压器，在变频系统中的地位举足轻重，隔离变压器也是核心设备。

由于隔离变压器一、二次绕组多，接线组别也很特殊，很难对变压器的内部故障实现差动保护^[1]，目前很多隔离变压器仅由瓦斯保护作为变压器内部故障的主保护，同时设置两套过电流保护等作为后备保护，保护配置不完善。

隔离变压器结构复杂，相比电力变压器更易发生故障，不配置差动保护直接关系到电网及变频设备的稳定运行。因此，要采取一切可能的措施保证保护装置完善、可靠，以便及早发现设备异常情况，及时切除故障，防止事故扩大。

如何正确实现隔离变压器的差动保护，以保证变压器无故障时正常运行以及在故障时断路器可靠跳闸，是摆在我们面前的重要课题。本文探讨大容量隔离变压器一、二次电流的采集方法，并提出工程化实施方案，以期对大容量隔离变压器配置差动保护提供借鉴。

1 接线组别等效

ACS5000变频调速装置由1台10 kV/ $6 \times 1\ 980\text{ V}$ 、32 628 kV·A三相油浸式隔离变压器、1套2×18脉冲变频器和1台28 425 kW同步电动机等组成。隔离变压器将10 kV电压降压为1 980 V，有2组一次绕组、6组二次绕组，接线组别为Yd10；20d11d11；40、Dd11；20d0d0；40，ACS5000变频器一次接线如图1所示。

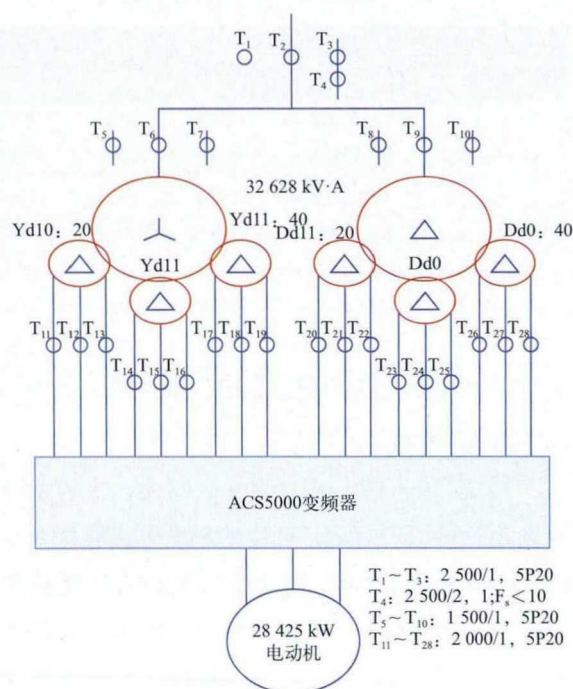


图1 ACS5000变频器一次接线



刘艳峰/工程师

关键词/Keywords

隔离变压器 ·
接线组别 ·
等效 ·
电流采集 ·
差动 ·

隔离变压器二次侧设计为多绕组的目的是移相,以增加等效脉波数,减轻整流谐波对电力系统的不良影响。但多绕组必定设置对应的多只电流互感器,本工程隔离变压器一、二次侧共8个绕组,每个绕组三相,共有24只电流互感器需要接入差动保护装置。但是目前国内外差动保护装置不论是硬件上还是软件上,均没有完全针对隔离变压器的产品,即没有提供这么多的电流输入端子和编制对应这么多接线组别的电流计算软件。

ABB公司为了满足用户的各种需要,设置了28只电流互感器。如何合理利用这些互感器以实现差动保护是值得深入解剖思考的问题。

分析隔离变压器的结构,可知是由两台不同接线组别的变压器封装在一个外壳里组成的。每台变压器虽然有很多绕组,但是很有规律,进行向量分析得出,可以通过二次接线将Yd10:20d11d11:40接线组别等效为Yd11,如图2所示;将Dd11:20d0d0:40接线组别等效为Dd0接线组别的变压器,如图3所示。

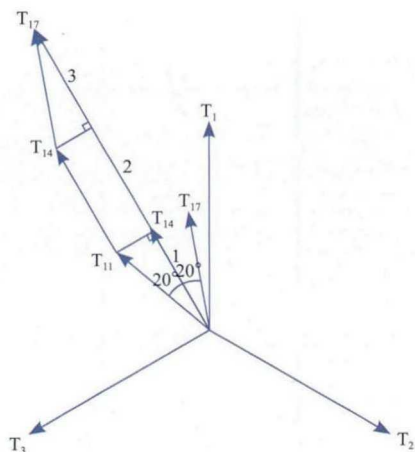


图2 Yd10:20d11d11:40等效为Yd11

以图2为例说明等效方法。采用时钟表示法,1个整点是 30° ,那么10:20和11:40与11:00之间均相差 20° ,假设3只电流互感器一次电流均为2000 A,则二次电流均为1 A,对 T_{11} 、 T_{14} 和 T_{17} 电流互感器二次电流进行叠加,得出的向量和角度就是11:00,即将Yd10:20d11d11:40接线组别等效为Yd11。

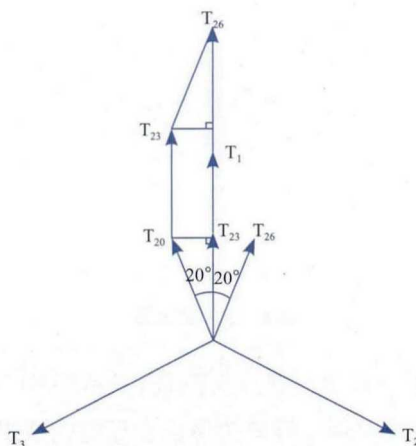


图3 Dd11:20d0d0:40等效为Dd0

2 电流值采集

从 T_{11} 、 T_{14} 的箭头处向合成的线段做垂线,这样合成的线段就分为1、2和3段。假设 T_{11} 、 T_{14} 和 T_{17} 的长度均为1,则线段1的长度 $=1 \times \cos 20^\circ \approx 0.94$;线段2的长度等于 T_{14} 的长度,即为1;线段3的长度 $=1 \times \cos 20^\circ \approx 0.94$ 。那么总长度 $=0.94 + 1 + 0.94 = 2.88$,合成完毕的电流比相当于6000/2.88^[2]。标准系列的电流互感器二次电流为1 A或者5 A,为了保持二次电流一致性,保护装置额定电流选为1 A。若电流比为6000/2.88,既不能保证微机保护内部运算正确,工作电流超过微机保护额定电流,又会对微机保护造成损坏。

为了解决这一问题,可采用中间变流器。经过探讨,在二次侧每相二次回路里加装1只2.88/1的中间变流器,这样电流比就成为6000/1,符合保护装置的硬件要求,也符合差动电流计算软件要求。

以 T_{11} 、 T_{14} 和 T_{17} 为例,加装的中间变流器 T_{29} 接线图如图4所示,合成的电流互感器输出接入差动保护装置对应d11组别A相输入,其余类推,即 T_{12} 、 T_{15} 、 T_{18} 、 T_{13} 、 T_{16} 、 T_{19} 、 T_{20} 、 T_{23} 、 T_{26} 、 T_{21} 、 T_{24} 、 T_{27} 、 T_{22} 、 T_{25} 和 T_{28} 各为一组,合成电流接入差动保护装置相应输入端。

3 差动保护配置

微机差动保护一般是为绕组在同一个铁心上的变压器或者超过一个铁心但是一次接线组别相同的变压器设计的。该隔离变压器是双铁心变压

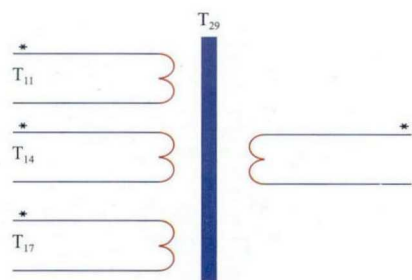


图4 中间变压器

器，内部一台变压器一次侧是Y接线组别，另外一台是D接线组别。等效为两台变压器接线组别：一台是Yd11，一台是Dd0。一次侧出现两个接线组别，为实现差动保护，提出了两套方案^[3]。

1) 方案一：隔离变压器配置一套微机差动保护装置。 $T_1 \sim T_3$ 与 $T_{11} \sim T_{28}$ 之间为差动保护区域。

2) 方案二：为等效出的Yd11、Dd0两台变压器分别配置一套微机差动保护， $T_5 \sim T_7$ 与 $T_{11} \sim T_{19}$ 之间为一套差动保护区域； $T_8 \sim T_{10}$ 与 $T_{20} \sim T_{28}$ 之间为另一套差动保护区域。

方案一优点是节约投资，缺点是差动保护定值设置较为复杂。

方案二优点是微机保护定值设置较简单。缺点是需要两套微机差动保护装置，电流回路接线多，投资比方案一多；另外差动保护区域比方案一小。

经过比对，从节约投资及扩大差动保护区域考虑决定采用方案一。

方案一的关键是如何解决一次侧接线组别不同造成的差动保护设置问题。经过深入分析可知，Dd0接线组别一、二次侧间没有角度差，在角度关系上与Yy0接线组别是一致的。因此这个问题就迎刃而解了，隔离变压器相当于一台Y，d11，y0的变压器，即将隔离变压器看作是一台三绕组变压器进行定值设置。

4 差动保护选择及设置

隔离变压器不同于一般的电力变压器，综合考虑其特点及结构，通过对国内外微机差动保护装置调查研究，选择美国GE公司开发的用于复杂电力系统大、中型变压器的 T_{35} 保护装置作为该隔

离变压器主保护， T_{35} 装置由谐波制动的双斜率三拐点比率差动保护和差动速断保护组成，装置内部功能强大，不但有很高的可靠性和灵敏性，设置也较为灵活，可根据变压器实际接线组别及一次系统接线对保护装置进行整定，满足现场不同状况的需要。

根据上述思路绘制了差动保护电流回路接线，如图5所示，只画出相关部分。

在定值设置时，将Transformer菜单中的

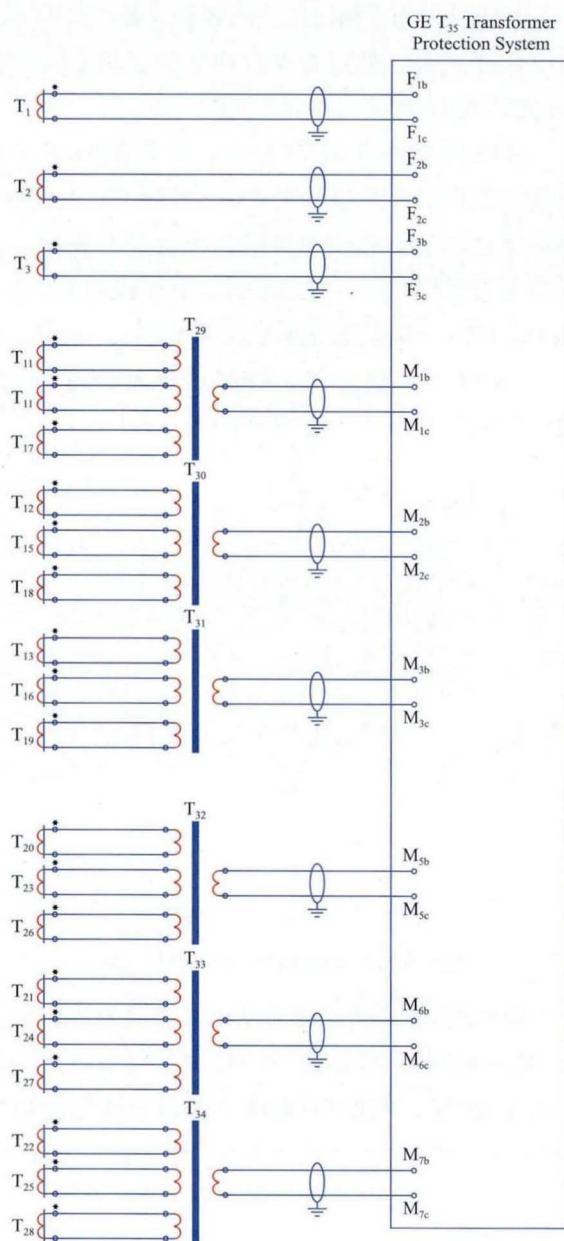


图5 差动保护电流回路接线

Windings中的Winding 1、Winding 2和Winding 3的Connection分别设置为Wye、Delta和Wye。T₁、T₂和T₃接入Winding 1，对应接线端子为F₁、F₂和F₃；T₁₁、T₁₄和T₁₇，T₁₂、T₁₅和T₁₈，T₁₃、T₁₆和T₁₉叠加合成电流经过相应中间变流器T₂₉、T₃₀和T₃₁接入Winding 2，对应接线端子为M₁、M₂和M₃；T₂₀、T₂₃和T₂₆，T₂₁、T₂₄和T₂₇，T₂₂、T₂₅和T₂₈叠加合成电流经过相应中间变流器T₃₂、T₃₃和T₃₄接入Winding 3，对应接线端子为M₅、M₆和M₇。

经过与GE公司T₃₅保护装置技术人员探讨，对隔离变二次电流采集方法、差动保护接线图设计及差动保护定值进行设定，确认是正确可行的。

需要注意的是，两侧电流进T₃₅差动保护装置Current Inputs端子的电流为180°接线，在接线时注意电流的极性。

变频系统安装完成后，进行隔离变压器冲击试验时差动保护未发生误动作，录取的电流波形正常；试运行及运行时用向量仪检测二次接线正常，从T₃₅装置内部读取的差动回路不平衡电流接近零。通过实际验证了本工程隔离变差动保护的设计及T₃₅差动保护定值的设置是完全正确的。

5 结束语

通过分析隔离变压器的结构，用电流叠加和加装中间变流器的方法，将多绕组特殊接线组别变压器二次电流回路变换为标准接线组别和标准二次电流的回路，用保护单铁心变压器的微机保护装置实现了对两铁心特殊变压器的差动保护。

实践证明，这一方案的实施保证了电网和隔离变压器安全可靠运行，为被类似问题困扰的同行提供了借鉴。

参考文献

- [1] 姚东晓，邓茂军，倪传坤，等. 变压器多侧励磁涌流产生机理及对差动快速动作区影响研究 [J]. 电力系统保护与控制，2016，44 (5)：36-41.
- [2] 陈继瑞，张营伟，刘洁，等. 一种变压器保护采样可靠性及涌流识别方案的研究 [J]. 电力系统保护与控制，2016，44 (14)：166-170.
- [3] 兰生，张小钊. 基于多判据的变压器差动保护方法 [J]. 电力系统保护与控制，2015，43 (23)：125-131.

(收稿日期：2017-02-10) EA

(上接第51页)

- [9] 核工业标准化研究所. EJ/T 1143-2002 核电站控制室设计功能分析与分配 [S]. 北京：中国标准出版社，2002.
- [10] Office of Nuclear Regulatory Research. NUREG-0700-2002 Human-system interface design review guidelines [S]. Washington DC: U. S. Nuclear Regulatory Commission, 2002.
- [11] IEC 61000-4-9 Electromagnetic compatibility (EMC) - part 4-9: testing and measurement techniques - pulse magnetic field immunity test [S]. International Electrotechnical Committee, 1993.
- [12] IEC 61000-4-10 Electromagnetic compatibility (EMC) - part 4-10: testing and measurement

techniques - damped oscillatory magnetic field immunity test [S]. International Electrotechnical Committee, 1993.

- [13] IEC 61000-4-3 Electromagnetic compatibility (EMC) - part 4-3: testing and measurement techniques radiated - radio-frequency, electrostatic field immunity test [S]. International Electrotechnical Committee, 1995.
- [14] 邱建文，孔海志，莫国钧. 核电厂电磁兼容挑战及应对策略 [J]. 原子能科学技术，2009，43 (增刊)：360-363.
- [15] GB/T 11684—2003 核仪器电磁环境条件与试验方法 [S].

(收稿日期：2016-05-23) EA