

故障分量比相原理在变压器保护中的应用

郭光荣

(重庆电力高等专科学校电力系, 重庆 400053)

摘要: 通过比较变压器内部短路、空载合闸、外部故障切除时电源侧母线电压的特征, 提出一种识别励磁涌流的新方法。通过比较变压器内部短路、外部短路故障分量的相位特征, 提出变压器主保护的故障分量比相原理。该原理可以很好地解决区外短路的不平衡电流对变压器主保护的影响, 提高了主保护灵敏性、选择性和快速性。

关键词: 励磁涌流; 故障分量; 相位比较

中图分类号: TM771 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2002)11-0072-04

1 引言

目前, 国内外变压器的主保护都采用差动保护。为躲变压器空载合闸及外部短路故障切除后的励磁涌流, 通常利用二次谐波制动原理或间断角原理构成。利用比率制动原理躲区外短路的最大不平衡电流。^[1]对于二次谐波制动原理的差动保护由于某些工况曾发生空载合闸出现误动的情况。美国西屋公司在 1976 年提出励磁涌流的最小二次谐波应为 7%。而前苏联在 1977 年又提出变压器内部故障二次谐波成分很大有时超过 30%, 根本否定了二次谐波成分大小是区分内部故障和励磁涌流的特征。而外部故障时, 如果两侧电流互感器饱和特性不一致, 暂态不平衡电流十分大。这样大的电流是不可能单纯靠提高制动系数来躲过的。内部故障如短路电流很大, 电流互感器严重饱和, 二次电流波形严重畸变完全可能出现间断角和高次谐波。间断角原理和二次谐波制动原理构成的差动保护均可能拒动。现代大容量的变压器发生匝间短路故障的机率显著增加, 这主要是高压绕组采用纠结式线圈。虽然差动保护能起到一定的匝间短路保护作用, 但最小动作电流决定了变压器匝间短路保护的死区大小。中性点直接接地的 Y 绕组在电源侧, 当单相接地故障时, 短路点越靠近中性点, 电源侧电流越小, 但短路点电流却因短路匝数减少而增大, 差动保护将出现死区。为解决励磁涌流和区外短路的不平衡电流对变压器主保护的影响, 提高变压器内部故障保护的灵敏性、选择性和快速性, 进一步探索新原理的保护是非常必要的。

2 励磁涌流的识别方法

当变压器空载合闸或外部短路故障切除时不可

避免地要产生励磁涌流。变压器接入系统的位置不同, 母线的电压受励磁电流的影响程度也不相同。以双绕组变压器为例, 其变压器的单相等值电路如图 1 所示。

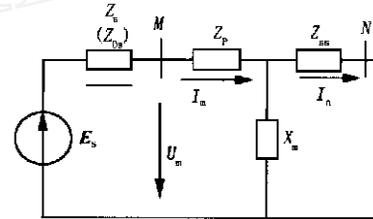


图 1 变压器单相等值电路图

Fig. 1 Equivalent circuit diagram of single-phase transformer

设 Z_s 为系统的正序阻抗, Z_{OS} 为零序阻抗, Z_p 、 Z_{SS} 为变压器原副边的漏抗, X_m 为励磁阻抗。当系统阻抗很小, 变压器空载合闸产生的励磁涌流使母线的电压降落不大; 当系统阻抗较大 (如工矿企业的变压器远离电力系统 Z_s 、 Z_{OS} 较大), 励磁涌流将使母线电压降低。但反过来母线电压降低, 变压器铁芯饱和程度减轻, 励磁阻抗 X_m 远远大于漏抗 Z_{SS} 。变压器空载合闸母线处的电压如公式 (1) 所示。

$$U_{Mhmax} = \frac{E_s}{Z_s + Z_p + X_m} \times (Z_p + X_m) \quad (1)$$

式中: U_{Mhmax} 为变压器空载合闸时母线处的电压。

当在变器内部如 N 点发生三相短路, 励磁回路电压约为一次电压的一半, 变压器铁芯不饱和, 根据这个关系短路时可忽略励磁回路。由公式 (2) 可知 N 点三相短路时母线 M 处的电压 U_{MDmax} 小于变压器空载合闸时的电压。

$$U_{MDmax} = \frac{E_s}{Z_s + Z_p + Z_{SS}} \times (Z_p + Z_{SS}) \quad (2)$$

式中: U_{MDmax} 为低压侧 N 点三相短路时母线 M 处的电压。

如果经检测变压器的开入量判断为空载合闸, 母线 M 处的电压 U_{MHmax} 大于变压器内部短路时母线 M 处的电压 U_{MDmax} 至少说明变压器未发生严重的相间或匝间短路。当然对于合闸到轻微的匝间或靠近变压器中性点的接地故障母线的电压也较高, 不满足电压判据。对此类工况通过合闸前的各种试验可以杜绝。如空载合闸于严重故障的变压器, 母线 M 处的电压必定小于 U_{MDmax} , 可由其它原理的保护来切除变压器。

对于外部故障切除后产生的励磁涌流可能使变压器两侧电流的突变量相位相同, 为防止按电流故障分量比相原理构成变压器保护误动, 可利用变压器若先发生外部故障, 微机保护置外部故障标志字“ $WB=1$ ”, 母线 M 处原故障相的电压要上升, 电压满足下式

$$U_M > K_K U_{MDmax} \quad (3)$$

将电流故障分量比相原理构成的变压器保护闭锁, 其中 K_K 取 1.2。

3 变压器内部故障时故障分量比相原理的动作判据

在变压器内部可能发生的故障有相间短路、匝间短路、绕组断线, 中性点直接接地变压器还可能发生接地故障。目前, 采用比率制动原理构造的变压器微机保护装置对于轻微的匝间短路及靠近变压器中性点附近的接地短路灵敏度不够, 可能出现死区。本文提出的故障分量比相原理可以很好解决。

3.1 变压器内部相间短路故障分量的特点

当变压器内部发生相间短路, 利用叠加原理可分为故障前的状态和故障附加状态。通过对故障附加网络的计算可求出故障分量的电流和电压。以双绕组变压器为例其单相等值的故障附加网络如图 2

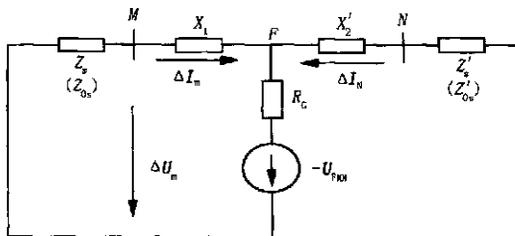


图 2 变压器内部故障附加网络图

Fig. 2 Attach network diagram of transformer internal fault

所示。其中 U_{F0} 为 F 点故障前的电压, R_G 为故障点的过渡电阻。从图 2 不难看出故障分量的特点^[2]: 故障分量仅在故障时出现, 正常时为零; 故障分量仅由施加于故障点的一个电动势产生, 因而采用故障分量电流比相原理构成的变压器保护的动作为不受过渡电阻的影响; 两侧故障分量电流相位相同; 故障分量由稳定的故障分量——负序、零序分量, 短暂的故障分量——突变量构成。突变量包含工频分量和暂态分量。在微机保护中计算突变量电流的算法如下:

$$i_{(k)} = i_{(k)} - i_{(k-n)} \quad (4)$$

式中: k 为采样时刻; N 为每周采样次数; n 为任意整数。

3.1.1 自适应突变量瞬时值比相原理

当变压器内部故障时两侧突变量的工频分量基本同相, 在保护的算法中取一判别数据窗 R , 若连续 R 个采样点中有 S 个满足同极性的判据, 则认为是内部故障。

例如: 采样频率为 600 Hz, 每周采样次数 N 为 12, 变压器两侧突变量电流按下式计算:

$$i_{M(k)} = i_{M(k)} - i_{M(k-N)} \quad (5)$$

$$i_{N(k)} = i_{N(k)} - i_{N(k-N)} \quad (6)$$

若突变量电流的瞬时值 $i_{M(k)} \times i_{N(k)} > 0$ 则该采样点满足同极性条件。或直接比较两突变量电流瞬时值的符号。为减少非周期分量的影响可采用一次差分后的突变量电流瞬时值进行上述比较。

(1) $\arg(i_M / i_N) = 0^\circ$, 侧突变量的工频分量同相。

如果 6 对采样点中有 3 对采样点同极性保护可作用于出口。

$$(2) -90^\circ < \arg(i_M / i_N) < 90^\circ$$

若发生故障时刻在 $\bar{t} = 90^\circ$, 连续 9 对采样点中有 6 对采样点同极性保护可作用于出口。

若发生故障时刻在 $\bar{t} = 0^\circ$, 连续 12 对采样点中有 6 对采样点同极性保护可作用于出口。

自适应突变量瞬时值比相原理可极大地提高保护的灵敏度和快速性。

3.1.2 电流突变量向量比相原理

为克服高次谐波及非周期分量可能对自适应突变量瞬时值比相原理的影响, 可利用一周期的采样值经全周波傅氏算法分别求出各侧电流突变量向量的实部和虚部再比相。可作为电流突变量瞬时值比相的近后备, 其动作判据如下:

$$-90^\circ < \arg(I_M / I_N) < 90^\circ \quad (7)$$

其中电流突变量向量:

$$I_M = I_{Mm} e^{j\alpha_1}; \quad I_N = I_{Nm} e^{j\alpha_2}$$

$$\text{公式(7)等效于: } \cos(\alpha_1 - \alpha_2) > 0 \quad (8)$$

由公式(8)不难推出如下电流突变量向量比相原理的动作判据:

$$\text{Re}(I_M) \times \text{Re}(I_N) + \text{Im}(I_M) \times \text{Im}(I_N) > 0 \quad (9)$$

式中: $\text{Re}(I_M), \text{Im}(I_M)$ 为取 M 侧电流突变量向量的实部和虚部。

3.1.3 变压器匝间短路保护的判据

以一台双绕组变压器为例,当发生匝间短路时,可把短路部分看作第三绕组 S ,这就相当于一台三绕组变压器在第三绕组发生短路。与系统相连的故障附加网络的等值电路如图 3 所示,其中 U_{F0} 为匝间短路前绕组的电势,图中略去一、二次绕组的电阻,短路部分则仍计及电阻 R_S ,这是考虑当短路发生在高压绕组,而且短路匝数很少,其 R_S 与其电抗可比拟, R_G 为电弧电阻。

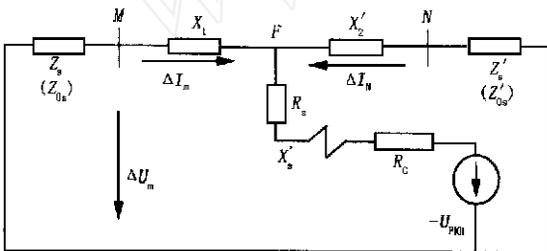


图 3 变压器内部匝间短路故障附加网络等值电路图

Fig. 3 Equivalent circuit diagram of attach network of turn-to-turn fault of transformer

当变压器内部匝间故障时,不难求出两侧突变量的工频分量基本同相。利用前面提出的自适应突变量瞬时值比相原理可极大地提高匝间短路保护的灵敏度和快速性。由于只比较两侧突变量电流的相位,理论上保护无死区。保护的出口时间最快为 5 ms。同样,利用各侧电流突变量向量比相作为电流突变量瞬时值比相的近后备,其动作判据如下:

$$-90^\circ < \arg(i_m / i_n) < 90^\circ \quad (10)$$

3.1.4 变压器单相接地保护的判据

在大电流接地系统发生单相接地故障的几率较大,运行中的变压器若在靠近中性点附近发生单相接地故障如图 4 所示,按比率制动原理构成的差动保护往往有死区。接地短路故障附加网络等值电路与图 3 类似。内部故障时两侧电流的故障分量相位

相同。同样可利用自适应突变量电流瞬时值比相和突变量电流向量比相原理来实现保护。还可比较电源侧和中性点的零序电流瞬时值的相位,其动作判据如下:

$$-90^\circ < \arg(3i_{0M}/3i_{0N}) < 90^\circ \quad (11)$$

在变压器微机保护中也按内部相间短路的算法,即:连续 6 对采样点中有 3 对采样点同极性、连续 9 对采样点中有 6 对采样点同极性或连续 12 对采样点中有 6 对采样点同极性保护可作用于出口。

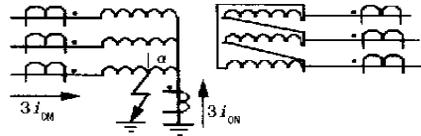


图 4 变压器单相接地短路示意图

Fig. 4 Schematic representation of single-phase-to-ground short circuit of transformer

4 变压器外部故障时故障分量的特点

变压器外部故障时,当两侧电流互感器饱和特性不一致,暂态不平衡电流十分大。这种情况下采用比率制动原理的差动保护区外故障可能误动。变压器外部故障附加网络等值电路如图 5 所示。不难看出两侧电流故障分量的相位是相反的,不满足比相的动作条件。从而,从根本上克服了变压器外部故障时两侧电流互感器饱和特性不一致对保护的影响。电流故障分量比相原理有很高的选择性。

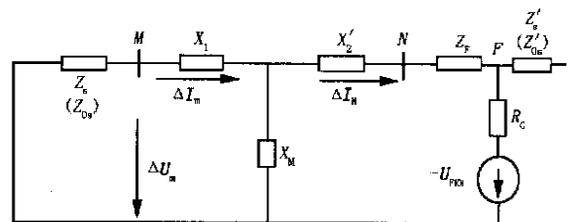


图 5 变压器外部故障附加网络图

Fig. 5 Attach network diagram of transformer external fault

5 结论

以上分析表明,按电流故障分量比相原理构成的变压器保护能正确反应运行中的变压器内部相间短路、轻微的匝间短路和靠近中性点的接地故障。区外故障有很高的选择性。外部故障切除后引入母线的电压作为励磁涌流的判据,闭锁电流故障分量比相原理部分。当空载合闸到故障变压器得依靠其他原理的保护。但不论保护的灵敏性、快速性、选择

性都优于目前采用的比率制动原理的差动保护。

国电力出版社,1995.

参考文献:

- [1] 王维俭,侯炳蕴.大型机组继电保护理论基础[M].北京:水利电力出版社,1988.
[2] 朱声石.高压电网继电保护原理与技术[M].北京:中

收稿日期: 2001-11-14

作者简介:

郭光荣(1950-),男,副教授,研究方向为电力继电保护。

Application of the principle of phase comparison of the fault component in transformer protection

GUO Guang-rong

(Chongqing Electric Power College, Chongqing 400053, China)

Abstract: The paper provides a new method to recognize magnetizing inrush current by comparing the character of busbar voltage on the power source side when internal short circuit, no-load closing and external short circuit occurred in the transformer, and presents the principle of phase comparison of the fault component of transformer main protection. By comparing the phase characteristics of internal short circuit and external short circuit, this principle can solve the influence of imbalance current of short circuit outside the protected zone on main protection of transformer, and improve sensitivity, selectivity and speed of the transformer main protection.

Key words: magnetizing inrush current; fault component; phase comparison

(上接第 50 页)

Discussing on several problems of microcomputer based protection in automation substation

LIN Qi-wei

(Shishi Electric Power Company, Shishi 362700, China)

Abstract: Through discussing several problems on the design of microprocessor based protection in 110kV automatic substation, the counter measure for solving these problems is found. Some suggestions about the operation and maintenance of protection and secondary circuit in automatic substation are provided.

Key words: substation; microprocessor-based protection; secondary circuits; operation and maintenance

(上接第 52 页)

(3) 保护小室内绕小室敷设环行接地母线。小室内各种电缆的金属外皮、设备的金属外壳与其它不带电金属物接地等,均以最短距离与环行接地母线连接。

(4) 在电缆沟保护小室入口处采用波导管技术,将屏蔽范围伸出保护小室外一部分,电缆进出小室均穿波导管。

方案,即将保护屏就近布置于配电装置附近保护小室内。

收稿日期: 2002-05-15

作者简介:

李中(1970-),工程师,从事电力系统继电保护及自动化设计和科研工作;

陈健(1957-),男,高工,从事工厂和民用建筑供配电工作。

5 结论

经过经济技术对比,推荐本工程采用保护下放

Study on the laying of protection and control equipments in the 500 kV substation

LI Zhong¹, CHEN Jian²

(1. Hebei Electric Power Design & Research Institute, Shijiazhuang 050031, China;

2. China Light Industry Wuhan Design Institute, Wuhan 430060, China)

Abstract: A scheme for the laying of protection and control equipments in the 500 kV substation is presented, with technical and economical comparison, through three different schemes (laying in small special rooms in the electric field, laying in panels in the electric field and laying in panels in the control building). The measures to decrease electromagnetic interference after those protection and control equipments were locally mounted are put forward.

Key words: substation; electromagnetic interference; integrated arrangement; dispersive arrangement