



第六章 电力变压器保护

第六章 电力变压器保护

6.1 电力变压器的故障类型和不正常工作状态

(一) 变压器内部故障

油箱内故障：

绕组相间、匝间短路、绕组接地（绕组和外壳短路）铁芯烧损。

油箱外故障：

套管和引出线上发生相间和接地故障。

本质上讲，油箱外的故障已经不是变压器本身的故障，但按照继电保护配置及保护区域的划分原则，上述区域的故障属于变压器保护的保护范围，所以归入变压器故障。

第六章 电力变压器保护

6.1 电力变压器的故障类型和不正常工作状态

(二) 变压器不正常运行方式

- 外部短路引起的过电流
- 外部接地引起的过电流和中性点过电压
- 过负荷、过励磁、油面降低，冷却系统故障

第六章 电力变压器保护

6.1 电力变压器的故障类型和不正常工作状态

(三) 变压器保护的分类和配置

分类

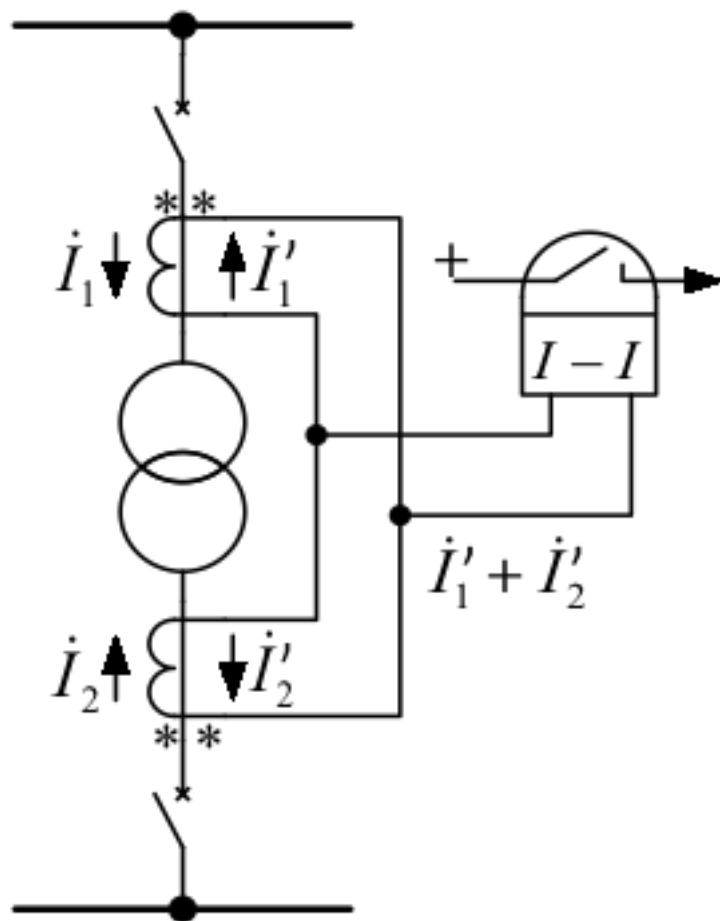
- 非电量保护：瓦斯保护
- 电量保护：（根据变压器容量及电压等级来配置）

保护配置

- 主保护：差动保护、电流速断保护、瓦斯保护
- 后备保护：过电流保护，零序过电流，零序过电压等。

6.2 变压器纵差动保护

6.2.1 变压器纵差动保护基本原理



假设变压器为理想变压器
(二) 区内故障

$$I_{diff} = \frac{n_T \dot{I}_H + \dot{I}_L}{n_{CTL}} + \left(1 - \frac{n_T n_{CTH}}{n_{CTL}}\right) \frac{\dot{I}_H}{n_{CTH}}$$

其中，对于前面所选择的变比，后一项为零；前一项和故障点电流成正比

(三) 保护判据

$$I_{diff} \geq I_{set}$$

6.2 变压器纵差动保护

6.2.2 变压器纵差动保护的不平衡电流分析及措施

(一) 变压器接线组别导致的相移引起的不平衡电流
产生原因：

电力变压器为了抑制三次谐波，改善波形，一般采用Y,d-11
接线或Y,d-11 接线。导致高压侧和低压侧电流存在相位
差。

若采用常规差动接线方式，则由于两侧电流存在相位差，正
常运行时必然会出现差动不平衡电流。

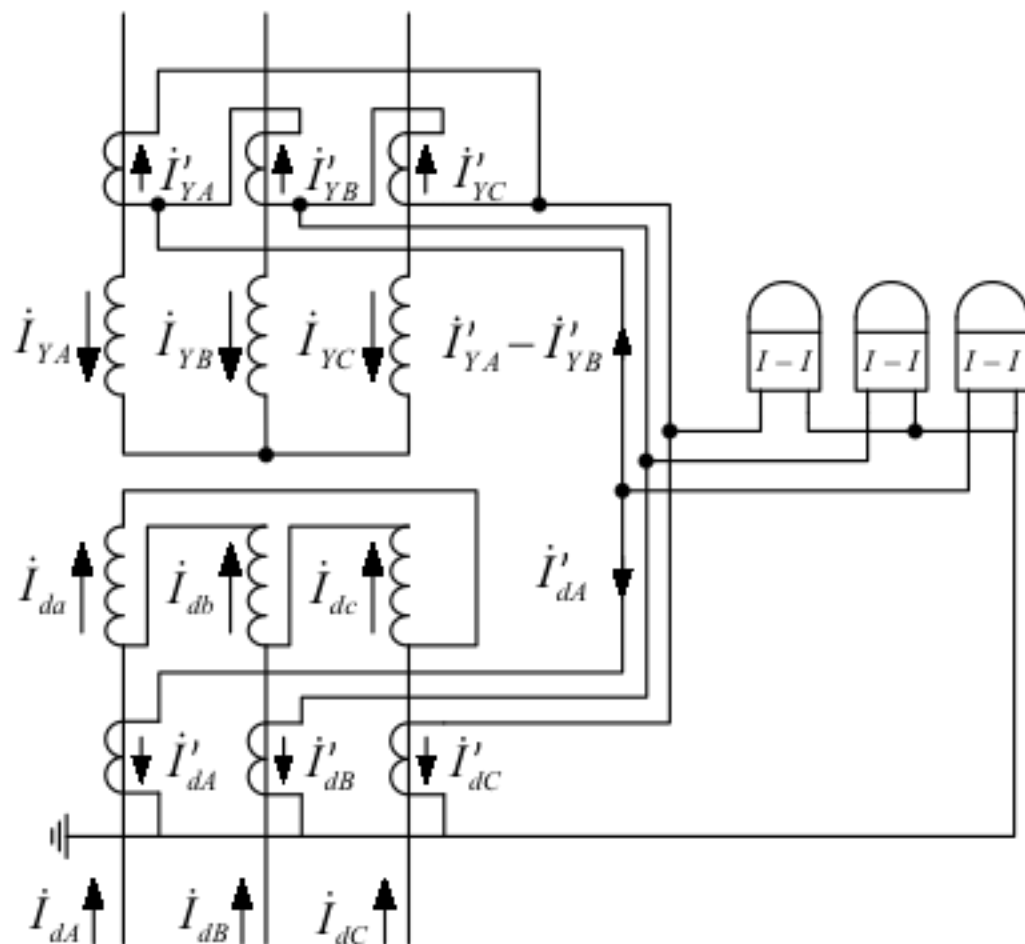
6.2 变压器纵差动保护

6.2.2 变压器纵差动保护的不平衡电流分析及措施

(一) 变压器接线组别导致的相移引起的不平衡电流消除方法

模拟式：利用CT二次接线的变化对相位进行校正。

具体方法是Y侧CT接成三角形，三角形侧接成Y形。



此时，正常运行时的差动电流为

$$\dot{I}_{diff} = \frac{\sqrt{3}\dot{I}_Y e^{j30^\circ}}{n_{CTY}} + \frac{\dot{I}_\Delta}{n_{CT\Delta}} = \frac{\dot{I}_Y e^{j30^\circ}}{n_{CTY}} \left(\sqrt{3} - \frac{n_T n_{CTY}}{n_{CT\Delta}} \right)$$

从而，两侧CT变比要满足

$$\sqrt{3} - \frac{n_T n_{CTY}}{n_{CT\Delta}} = 0 \quad \text{即} \quad n_T = \frac{\sqrt{3} n_{CT\Delta}}{n_{CTY}}$$

6.2 变压器纵差动保护

6.2.2 变压器纵差动保护的不平衡电流分析及措施

(一) 变压器接线组别导致的相移引起的不平衡电流
消除方法

数字式：CT全部接成星形接线。在内部靠软件计算实现移相

$$\begin{array}{l} \text{移相} \left\{ \begin{array}{l} i'_{aY} = i_{aY} - i_{bY} \\ i'_{bY} = i_{bY} - i_{cY} \\ i'_{cY} = i_{cY} - i_{aY} \end{array} \right. \quad \text{差电流计算} \quad \left\{ \begin{array}{l} i_{diffa} = i'_{aY} + Ki_{a\Delta} \\ i_{diffb} = i'_{bY} + Ki_{b\Delta} \\ i_{diffc} = i'_{cY} + Ki_{c\Delta} \end{array} \right. \end{array}$$

其中K为平衡系数，由关系式 $n_T = \frac{\sqrt{3}n_{CT\Delta}}{n_{CTY}}$ 可以推导出来

6.2 变压器纵差动保护

6.2.2 变压器纵差动保护的不平衡电流分析及措施

(二) CT计算变比和实际变比不一致引起的不平衡电流产生原因:

1. 要想消除两侧变比不一致引起的不平衡电流, 则两侧变比必须满足

$$n_T = \frac{\sqrt{3}n_{CT\Delta}}{n_{CTY}}$$

2. CT的生产制造是按标准化生产的, 其变比为标准变比。不可能正好满足上述关系, 一般是在满足容量要求前提下, 配置变比最接近的CT

3. 不平衡电流估计

$$f_{za} = \left| 1 - \frac{n_{TA1}n_T}{n_{TA2}} \right|$$

$$I_{unb \cdot \max} = f_{za} I_{k \cdot \max}$$

6.2 变压器纵差动保护

6.2.2 变压器纵差动保护的不平衡电流分析及措施

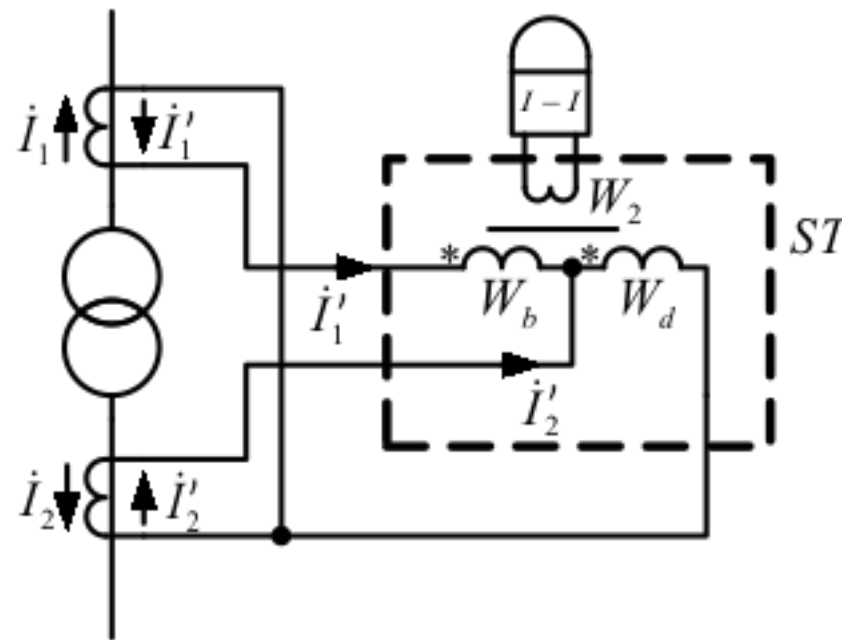
(二) CT计算变比和实际变比不一致引起的不平衡电流

解决措施：

模拟方法

采用平衡绕组

(不可能完全消除)



数字方法：平衡计算

$$\begin{cases} i_{diffa} = i'_{aY} + Ki_{a\Delta} \\ i_{diffb} = i'_{bY} + Ki_{b\Delta} \\ i_{diffc} = i'_{cY} + Ki_{c\Delta} \end{cases}$$

6.2 变压器纵差动保护

6.2.2 变压器纵差动保护的不平衡电流分析及措施

(三) 变压器带负荷调整分接头产生的不平衡电流
产生原因：

1. 要想消除两侧变比不一致引起的不平衡电流，则两侧变比必须满足

$$n_T = \frac{\sqrt{3}n_{CT\Delta}}{n_{CTY}}$$

2. 变压器带负荷调整分接头，其本质是调节变压器的变比
3. 不平衡电流估计

$$I_{unb.\max} = \Delta U I_{k.\max}$$

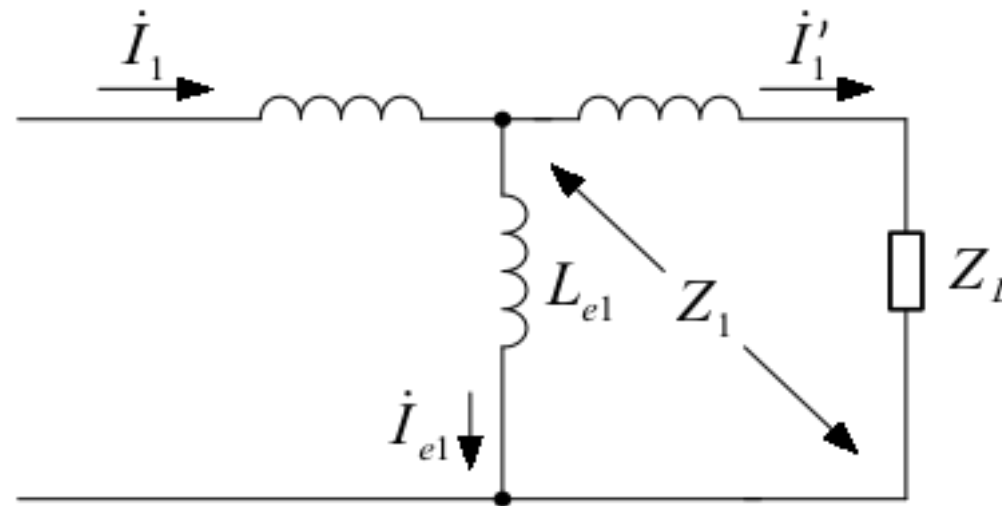
6.2 变压器纵差动保护

6.2.2 变压器纵差动保护的不平衡电流分析及措施

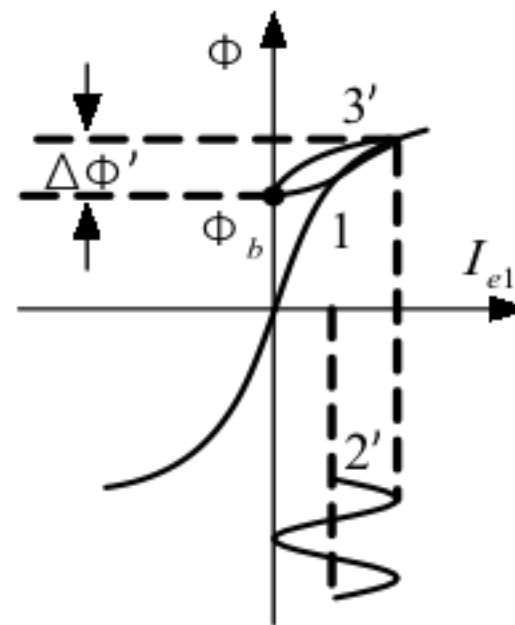
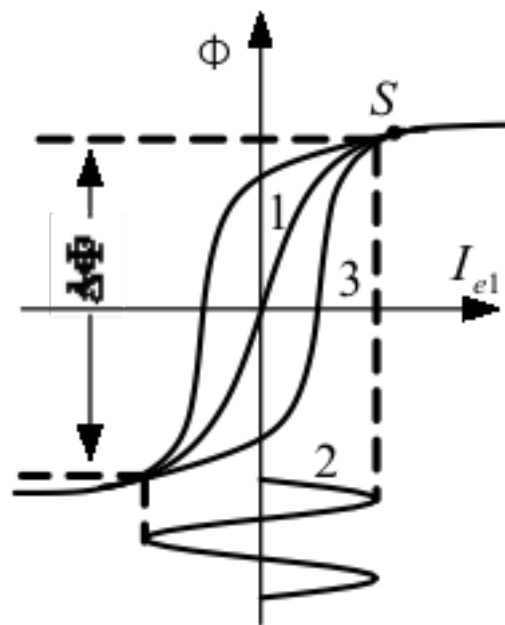
(四) 电流互感器传变误差引起的不平衡电流

产生原因：

1. CT等值电路



2. 暂态非周期分量的影响



6.2 变压器纵差动保护

6.2.2 变压器纵差动保护的不平衡电流分析及措施

(四) 电流互感器传变误差引起的不平衡电流
产生原因：

1. 不平衡电流大小的估计

$$I_{unb \cdot \max} = 0.1 K_{st} I_{k \cdot \max}$$

解决措施：

1. 抬高动作门槛
2. 采用速饱和变流器
3. 延时确认

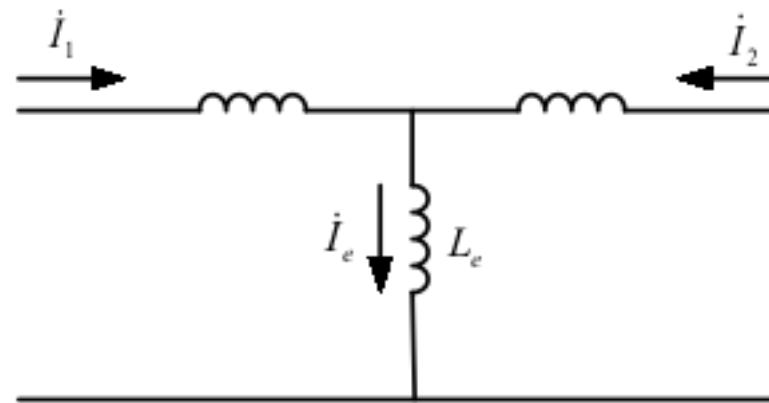
6.2 变压器纵差动保护

6.2.2 变压器纵差动保护的不平衡电流分析及措施

(五) 变压器励磁涌流产生的不平衡电流

产生原因：

1. 变压器等值电路



2. 励磁电流与变压器铁芯特性有关，正常运行时，变压器工作在其铁磁特性线性段，励磁阻抗很大，可近似认为励磁电流为0
3. 空载合闸或故障后电压恢复时，由于剩磁的影响，可能时变压器进入饱和区，从而产生很大的励磁电流

6.2 变压器纵差动保护

6.2.2 变压器纵差动保护的不平衡电流分析及措施

(五) 变压器励磁涌流产生的不平衡电流

解决措施：

1. 差动原理是由基尔霍夫电流定律导出的，变压器本身不满足其前提，因此从原理上无法消除励磁涌流的影响
2. 寻找判别涌流和故障的特征（研究热点）
3. 提高动作门槛
4. 延时

6.2 变压器纵差动保护

6.2.3 变压器纵差动保护的整定计算原则

原则之一：按躲过外部短路故障时的最大不平衡电流整定

$$I_{set} = K_{rel} I_{unb.max}$$

可靠系数取1.3

最大不平衡电路的计算

$$I_{unb.max} = (\Delta f_{za} + \Delta U + 0.1 K_{np} K_{st}) I_{k.max}$$

$I_{k.max}$ 为外部短路的最大短路电流

6.2 变压器纵差动保护

6.2.3 变压器纵差动保护的整定计算原则

原则之二：按躲过变压器最大励磁涌流整定

$$I_{set} = K_{rel} K_{\mu} I_N$$

可靠系数取1.3-1.5； K_{μ} 取值为4-8

若保护具有励磁涌流识别比差动保护功能，则不必考虑这一整定原则

6.2 变压器纵差动保护

6.2.3 变压器纵差动保护的整定计算原则

原则之三：按躲过电流互感器二次回路断线引起的差电流

$$I_{set} = K_{rel} I_{L.max}$$

可靠系数取1.3；

$I_{L.max}$ 变压器最大负荷电流

6.2 变压器纵差动保护

6.2.3 变压器纵差动保护的整定计算原则

灵敏度校验

$$K_{sen} = \frac{I_{k \cdot \min \cdot R}}{I_{set}}$$

$I_{k \cdot \min \cdot R}$ 为各种运行方式下变压器保护区引出端故障时，流经差动继电器的最小差动电流

灵敏系数一般不应低于2

动作时间：由于差动保护不存在于其他保护的配合问题，可以独立判别区内和区外故障，故而动作时间为0