

电力系统继电保护实验报告

电气 810 班	聂永欣	2186113564
----------	-----	------------

1 实验目的

1. 了解变压器纵差动保护原理，了解造成变压器差动保护的不平衡电流的原因，整定计算纵差动保护动作电流。
2. 了解具有制动特性的差动继电器的应用场合，了解标积制动与比率特性的差动继电器的区别，整定计算制动特性的斜率与拐点。

2 实验原理

2.1 变压器纵差动保护原理

电流纵差动保护不仅可以正确区分区内、区外故障，而且不需要与其他元件的保护配合，可以无延时地切除区内各种故障，具有独特的优点，因而被广泛地用作变压器的主保护。

其中， \dot{I}_1 、 \dot{I}_2 分别为变压器一次侧和二次侧的电流，参考方向为母线指向变压器； \dot{I}'_1 、 \dot{I}'_2 为相应的电流互感器二次电流。设变压器变比为 n_T ，流入差动继电器 KD 的差动电流为：

$$\dot{I}_r = \frac{n_T \dot{I}'_1 + \dot{I}'_2}{n_{TA2}} + (1 - \frac{n_{TA1} n_T}{n_{TA2}}) \frac{\dot{I}'_1}{n_{TA1}}$$

式中 n_{TA1} 、 n_{TA2} 为两侧电流互感器的变比。

若选择电流互感器的变比，使之满足：

$$n_T = \frac{n_{TA2}}{n_{TA1}}$$

则当忽略变压器的损耗，正常运行和区外故障时一次电流的关系为 $\dot{I}_2 + n_T \dot{I}_1 = 0$ 。正常运行和变压器外部故障时，差动电流为 0，保护不会动作；变压器内部任何一点故障时，相当于变压器内部多了一个故障支路，流入差动继电器的差动电流等于故障点电流（变换到电流互感器二次侧），只要故障电流大于差动继电器的动作电流，差动保护就能迅速动作。

2.2 差动继电器的制动特性

实际工作中，流入差动继电器的不平衡电流与变压器外部故障时的穿越电流有关。穿越电流越大，不平衡电流越大。具有制动特性的差动继电器则是利用这个特点，在差动继电器中引入一个能够反应变压器穿越电流大小的制动电流，使继电器的动作电流能够根据制动电流自动调整。

差动电流 I_r 与制动电流 I_{res} 的关系如图 1 所示。仅当差动电流处于曲线上方

时，差动继电器才能动作并且肯定动作。 $K_{rel}f(I_{res})$ 曲线称为差动继电器的动作区，另一个区域相应地称为制动区。

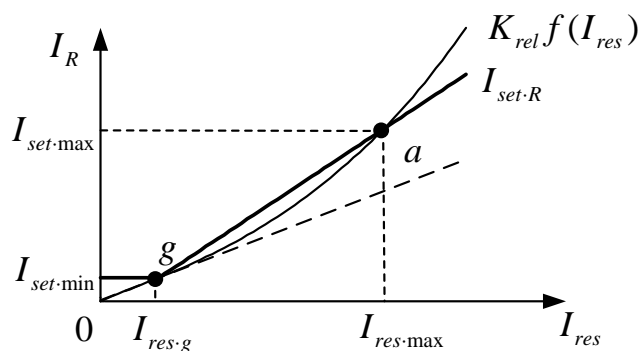


图 1 继电器制动特性

制动特性的数学表达式为：

$$I_{set-R} = \begin{cases} I_{set-min}, & I_{res} < I_{res-g} \\ K(I_{res} - I_{res-g}) + I_{set-min}, & I_{res} \geq I_{res-g} \end{cases}$$

其中的 K 称为制动特性的斜率，有

$$K = \frac{I_{set-max} - I_{set-min}}{I_{res-max} - I_{res-g}}$$

2.3 微机保护装置的实现原理

本实验所采用的 XRT-221I 自适应变压器保护装置具有变压器主保护和后备保护功能，可适用于各种类型及接线方式的两圈变压器保护，其配置图例如图 4 所示。其中，TA1、TA2 代表接在变压器原边的电流互感器，TA3、TA4 代表接在变压器副边的电流互感器。

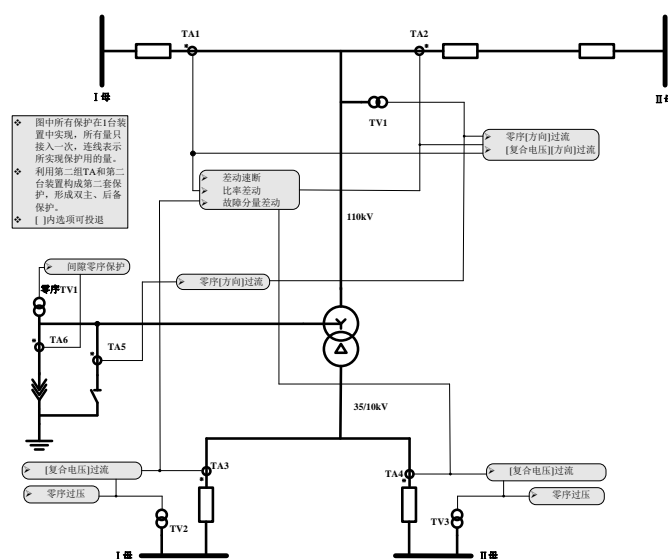


图 3 XRT-221I 用于两圈变压器配置图例

装置设有差动速断保护，在 TA 断线时且 TA 断线闭锁方式投 0、1、2 方式时，当任一相差动电流大于差动速断整定值时瞬时动作于出口。对于比率差动保

护，按相判别，满足动作方程时动作，经过 TA 饱和判别、TA 断线判别、励磁涌流判别后出口，在判断为 TA 饱和时该判据退出，同时由于饱和判据的引入使得区外故障引起的 TA 饱和不会造成误动。

3 实验内容

3.1 整定计算

设定本次实验的变压器参数，详见表 1 所示。

表 1 变压器参数设定

参数名	对应数值	参数名	对应数值
变压器容量 (MW)	300	调压误差	$\pm 2 \times 2.5\%$
变压器一次侧额定电压 (kV)	220	短路阻抗	12%
变压器二次侧额定电压 (kV)	35	归算至低压侧的变压器阻抗 (Ω)	0.490
变压器变比	6.286	低压母线三相短路电流 (kA)	41.239
变压器原边额定电流 (kA)	0.787	折算至互感器二次侧的 低压母线三相短路电流 (A)	41.667
变压器副边额定电流 (kA)	4.95	低压母线两相短路电流 (kA)	35.714
变压器的接线方式	Yd11	折算至互感器二次侧的 低压母线两相短路电流 (A)	36.084

1. 纵差动保护动作电流的整定

①按躲过外部短路故障时的最大不平衡电流整定

由电流互感器和变压器变比不完全匹配产生的最大不平衡电流和互感器传变误差引起的最大不平衡电流：

$$\begin{aligned} I_{\text{unb.max}} &= (\Delta f_{\text{za}} + \Delta U + 0.1 K_{\text{np}} K_{\text{st}}) I_{\text{k.max}} \\ &= (0 + 0.05 + 0.1 \times 1 \times 1.75) \times 41.667 \\ &= 9.375(\text{A}) \end{aligned}$$

其中， $I_{\text{k.max}}$ 是外部短路故障时最大短路电流； Δf_{za} 是由于电流互感器计算变比和实际变比不一致引起的相对误差，本实验忽略该误差因素，取 0； ΔU 是由变压器分接头改变引起的相对误差，取 0.05； K_{np} 是非周期分量系数，取 1.75； K_{st} 是电流互感器同型系数，取 1。

按躲过该最大不平衡电流整定，有

$$I_{\text{set}} = K_{\text{rel}} I_{\text{unb.max}} = 1.3 \times 9.375 = 12.188(\text{A})$$

其中， K_{rel} 是可靠系数，取 1.3。

②按躲过电流互感器二次回路断线引起的差电流整定

差动保护的動作电流必须大于正常运行情况下变压器的最大负荷电流，即

$$I_{\text{set}} = K_{\text{rel}} I_{\text{l.max}} = 1.3 \times 5 = 6.5(\text{A})$$

其中， K_{rel} 是可靠系数，取 1.3； $I_{\text{l.max}}$ 是变压器的最大负荷电流，取变压器的额定电流近似为 5A。

选取其中较大者为纵差动保护动作电流（差动速断电流定值），为 12.188A。

2. 具有制动特性的差动继电器的整定

设变压器穿越电流等于最大外部故障电流时，差动继电器的动作电流和制动电流分别为 $I_{\text{set.max}}$ 和 $I_{\text{res.max}}$ 。此时，有

$$I_{\text{set.max}} = K_{\text{rel}} I_{\text{unb.max}} = 12.188(\text{A})$$

互感器饱和会使测量到的制动电流减小，有

$$I_{\text{res.max}} = I_{\text{k.max}} - I_{\text{unb.max}} = 32.292(\text{A})$$

拐点电流取

$$I_{\text{res.g}} = 1.35 I_{\text{N}} = 1.35 \times 5 = 6.75(\text{A})$$

最小动作电流取

$$I_{\text{set.min}} = 0.35 I_{\text{N}} = 0.35 \times 5 = 1.75(\text{A})$$

计算制动特性的斜率/比率差动比例系数，有

$$K = \frac{I_{\text{set.max}} - I_{\text{set.min}}}{I_{\text{res.max}} - I_{\text{res.g}}} = \frac{12.188 - 1.75}{32.292 - 6.75} = 0.409$$

3.2 保护动作情况

使用 PSCAD 软件仿真所选用变压器在副边区内发生各类短路故障时的原边三相电流情况，将对应的电流信号输入至变压器保护装置，测试保护装置的动作情况，在副边处发生区内短路故障时流经电流互感器 TA3、TA4 的电流为 0。

1. 单相短路接地

在 A 相单相接地时，仿真得到变压器原边三相电流，给予 TA1、TA2 二次侧的三相电流如表 2 所示。

表 2 A 相单相接地时 TA1、TA2 二次侧电流设定

参数名	对应数值	参数名	对应数值
TA1 二次侧 A 相电流 (A)	12.922	TA1 二次侧 A 相电流相位 (°)	0
TA1 二次侧 B 相电流 (A)	12.376	TA1 二次侧 B 相电流相位 (°)	120
TA1 二次侧 C 相电流 (A)	0.537	TA1 二次侧 C 相电流相位 (°)	-120
TA2 二次侧 A 相电流 (A)	10.922	TA2 二次侧 A 相电流相位 (°)	0
TA2 二次侧 B 相电流 (A)	10.376	TA2 二次侧 B 相电流相位 (°)	120

TA2 二次侧 C 相电流 (A)	0.537	TA2 二次侧 C 相电流相位 (°)	-120
-------------------	-------	---------------------	------

记录保护装置的动作情况，保护起动 19ms 后，比率差动保护动作， $I_{da}=21.14A$ 、 $I_{db}=20.68A$ 、 $I_{dc}=8.36A$ 。

2. 两相短路接地

在 AB 两相短路接地时，仿真得到变压器原边三相电流，给予 TA1、TA2 二次侧的三相电流如表 3 所示。

表 3 AB 两相短路接地时 TA1、TA2 二次侧电流设定

参数名	对应数值	参数名	对应数值
TA1 二次侧 A 相电流 (A)	20.23	TA1 二次侧 A 相电流相位 (°)	0
TA1 二次侧 B 相电流 (A)	9.282	TA1 二次侧 B 相电流相位 (°)	180
TA1 二次侧 C 相电流 (A)	10.661	TA1 二次侧 C 相电流相位 (°)	180
TA2 二次侧 A 相电流 (A)	20.23	TA2 二次侧 A 相电流相位 (°)	0
TA2 二次侧 B 相电流 (A)	9.282	TA2 二次侧 B 相电流相位 (°)	180
TA2 二次侧 C 相电流 (A)	10.661	TA2 二次侧 C 相电流相位 (°)	180

记录保护装置的动作情况，保护起动 19ms 后，比率差动保护动作， $I_{da}=34.13A$ 、 $I_{db}=23.59A$ 、 $I_{dc}=24.94A$ 。

3. 两相短路

在 AB 两相短路时，仿真得到变压器原边三相电流，给予 TA1、TA2 二次侧的三相电流如表 4 所示。

表 4 AB 两相短路时 TA1、TA2 二次侧电流设定

参数名	对应数值	参数名	对应数值
TA1 二次侧 A 相电流 (A)	22.786	TA1 二次侧 A 相电流相位 (°)	0
TA1 二次侧 B 相电流 (A)	11.429	TA1 二次侧 B 相电流相位 (°)	180
TA1 二次侧 C 相电流 (A)	12.360	TA1 二次侧 C 相电流相位 (°)	180
TA2 二次侧 A 相电流 (A)	20.786	TA2 二次侧 A 相电流相位 (°)	0
TA2 二次侧 B 相电流 (A)	9.429	TA2 二次侧 B 相电流相位 (°)	180
TA2 二次侧 C 相电流 (A)	10.360	TA2 二次侧 C 相电流相位 (°)	180

记录保护装置的动作情况，保护起动 20ms 后，比率差动保护动作， $I_{da}=36.85A$ 、 $I_{db}=25.94A$ 、 $I_{dc}=26.77A$ 。

4. 三相短路

在三相短路时，仿真得到变压器原边三相电流，给予 TA1、TA2 二次侧的三相电流如表 5 所示。

表 5 三相短路时 TA1、TA2 二次侧电流设定

参数名	对应数值	参数名	对应数值
TA1 二次侧 A 相电流 (A)	21.026	TA1 二次侧 A 相电流相位 (°)	0
TA1 二次侧 B 相电流 (A)	21.111	TA1 二次侧 B 相电流相位 (°)	120
TA1 二次侧 C 相电流 (A)	21.106	TA1 二次侧 C 相电流相位 (°)	-120
TA2 二次侧 A 相电流 (A)	19.026	TA2 二次侧 A 相电流相位 (°)	0
TA2 二次侧 B 相电流 (A)	19.111	TA2 二次侧 B 相电流相位 (°)	120
TA2 二次侧 C 相电流 (A)	19.107	TA2 二次侧 C 相电流相位 (°)	-120

记录保护装置的动作情况,保护起动 19ms 后,比率差动保护动作, $I_{da}=40.84A$ 、 $I_{db}=40.48A$ 、 $I_{dc}=40.18A$ 。

4 实验结论

本次实验针对变压器副边区内各类短路故障,通过微机保护装置检验了计算整定的差动继电器制动特性。

由于制动特性在差动继电器中引入一个能够反应变压器穿越电流大小的制动电流,使继电器的动作电流根据制动电流自动调整。实验过程中使用 50Hz 的基波电流作为保护装置的输入。

经测试,对于 4 类典型的故障中(单相短路,两相短路,两相接地短路,三相短路),比率差动保护均可在 1 个周波左右的时间范围内完成动作,实现可靠保护。