

发变组内部短路主保护新判据的探讨

清华大学 卜秉鑫 王维俭 杨钺
电科院研究生部 陈允平

1 前言

以往发变组内部短路主保护习惯采用发差和发变组大差,对于大型机组,根据双重主保护原则,增设变差,一共装设三组纵差保护。

基于下述新的情况,有必要探讨新的内部短路保护判据:

(1) 对于发电机定子绕组的匝间短路和开焊故障,还必须增设横差或其它保护,过于复杂。

(2) 由于现代变压器铁芯材料的改进,空载合闸励磁涌流中二次谐波含量减小,由于系统补偿电容和线路分布电容的增加,使变压器差动保护区内短路故障时的低次谐波(接近二次谐波)含量增大,造成区分内部短路与空载合闸的困难。

(3) 大型机组纵差保护的動作电流小于主设备的额定电流,必须附加LH二次断线保护,使差动保护装置更加复杂。

(4) 500kV级LH通常带有小气隙,而发电机电压级LH总是不带气隙,给装设差动保护增加了困难。

(5) 考虑到微机的极强计算功能和记忆能力,过去模拟式保护装置无法实现的保护判据,现在在数字式保护装置中可以实现了。

2 采用负序功率增量方向保护的可行性

发电机和变压器内部短路总是三相不对称的,一定有负序功率流出被保护设备。

参考文献

1. "A Multiprocessor-Based Distance Relay Design Features and Test Results" St-Jacques A. L. IEEE Transaction on PAS, Vol. PAS-102 No. 12 December 1983
2. "Design and Testing of A Microprocessor-Based Distance Relay" B. JeYasurya IEEE Transaction on PAS Vol. PAS-103 No. 5 May 1984
3. "Multi-Microprocessor-Based Travelling Wave Relay" M. M. Mansour and G. W. Swift Third International Conference on Developments in Power-System Protection 17~19 April 1985
4. "适用于微机保护的模数变换器新方案探讨" 张振华 王绪昭 杨奇逊 华北电力学院学报 1989年第3期

30万kW及以上的大型机组的引出线，500kV的高压引线均为封闭式，没有发生三相对称短路的可能性。

一切发变组区外的系统不对称短路或不对称运行工况，恒有负序功率流入发变组。

可见负序功率方向是发变组内部故障（包括定子绕组开焊）的明确判据。

系统正常运行中，由于三相负荷不对称或三相输电线换位不充分等原因，也存在负序功率，它们的存在必将影响内部短路时的保护灵敏度，为此改用负序功率增量（故障分量）的方向保护，以 ΔP_2 表示。

3 ΔP_2 保护的配置

为了发变组内部短路的保护，分别在机端和变压器高压侧装设 ΔP_2 各一套。机端的 ΔP_2 保护发电机内部的各种相间匝间短路和定子开焊故障，以及机端引线的不对称相间短路。高压侧的 ΔP_2 既保护变压器内部及高压引线的不对称故障，又作为发电机的第二套主保护（兼有发变大差的功能）。变压器的第二套主保护另节讨论。

由于 ΔP_2 保护灵敏度很高，厂用变压器低压侧不对称短路可能引起发变组 ΔP_2 保护误动，为此在厂用变高压侧增设一组 ΔP_2 ，当负序功率增量由厂用变流出时闭锁发变组 ΔP_2 保护。厂用变 ΔP_2 保护的灵敏度应高于发变组 ΔP_2 保护。 ΔP_2 保护配置见图1。

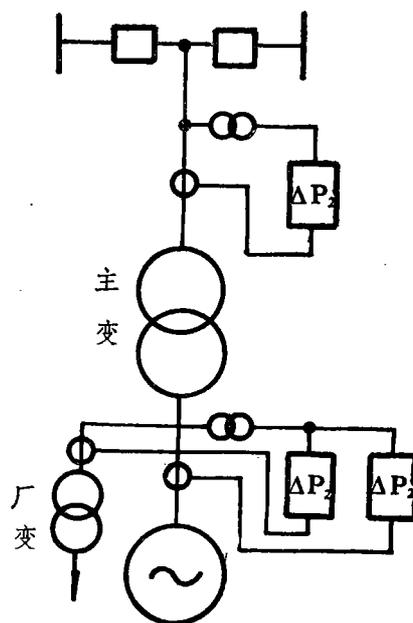


图1 负序功率增量方向保护的配置

4 ΔP_2 保护的算法和判据

设 N 为每周波采样次数， n 为采样序列，则有负序电压和负序电流为：

$$u_2(n) = \frac{1}{3} [u_a(n) - u_b(n) + u_c(n - N/6) - u_c(n - N/6)] \quad (1)$$

$$i_2(n) = \frac{1}{3} [i_a(n) - i_b(n) + i_c(n - N/6) - i_c(n - N/6)] \quad (2)$$

负序电压电流的增量为：

$$\Delta u_2(n) = u_2(n) - u_2(n - N) \quad (3)$$

$$\Delta i_2(n) = i_2(n) - i_2(n-N) \quad (4)$$

经滤序后的 Δu_2 和 Δi_2 ，再经全波付氏级数的数字滤波算法，可得对应于采样点 n 的基波负序电压电流 $\Delta \dot{U}_2(n)$ 和 $\Delta \dot{I}_2(n)$ ，负序功率增量方向保护的**动作判据**为：

$$(\phi_2 - 90^\circ) < \arg \Delta \dot{U}_2(n) / \Delta \dot{I}_2(n) < (\phi_2 + 90^\circ) \quad (5)$$

式中 ϕ_2 为最灵敏角，应与 ΔP_2 保护动作方向相反侧的负序阻抗角相等， $\phi_2 \approx 70^\circ \sim 80^\circ$ 。

若令 $\Delta \dot{I}'_2 = \Delta \dot{I}_2 e^{j\phi_2}$ ，则有**动作判据**：

$$-90^\circ < \arg \Delta \dot{U}_2(n) / \Delta \dot{I}'_2(n) < 90^\circ \quad (6)$$

或写成比幅式

$$|\Delta \dot{U}_2(n) + \Delta \dot{I}'_2(n)| > |\Delta \dot{U}_2(n) - \Delta \dot{I}'_2(n)| \quad (7)$$

取用 $\Delta \dot{I}'_2$ 需要移相，若改用负序线电压 $\Delta \dot{U}_{2AC}$ ，且有：

$$\Delta \dot{U}_{2AC} = \frac{2}{3} \Delta \dot{U}_{2ACR} + j \Delta \dot{U}_{2ACI}$$

$$\Delta \dot{I}_{2A} = \Delta \dot{I}_{2AR} + j \Delta \dot{I}_{2AI}$$

式中 R 表示实部，I 表示虚部。

则负序功率 ΔP_2 为：

$$\Delta P_2 = R_e [\Delta \dot{U}_{2A} \Delta \dot{I}_{2A}^* e^{-j\phi_2}] = R_e [\Delta \dot{U}_{2AC} \Delta \dot{I}_{2A}^* e^{-j(\phi_2 + 30^\circ)}] \quad (8)$$

若取 $\phi_2 = 60^\circ$ 则：

$$\Delta P_2 = R_e [\Delta \dot{U}_{2AC} \Delta \dot{I}_{2A}^* e^{-j90^\circ}] = g_m [\Delta \dot{U}_{2AC} \Delta \dot{I}_{2A}^*]$$

$$\text{即 } \Delta U_{2ACI}(n) \Delta I_{2AR}(n) - \Delta U_{2ACR}(n) \Delta I_{2AI}(n) > \varepsilon_P \quad (8)$$

上式也是 ΔP_2 保护的**动作判据**。

$$\text{若 } \Delta \dot{U}_2(n) = \Delta U_{2R}(n) + j \Delta U_{2I}(n)$$

$$\Delta \dot{I}_2(n) = \Delta I_{2R}(n) + j \Delta I_{2I}(n)$$

则**动作判据**可表示为：

$$\begin{aligned} \Delta P_2(n) &= R_e [\Delta \dot{U}_2(n) \Delta \dot{I}_2^*(n)] = \Delta U_{2R}(n) \Delta I_{2R}(n) \\ &+ \Delta U_{2I}(n) \Delta I_{2I}(n) > \varepsilon_P \end{aligned} \quad (9)$$

为取得最大灵敏度，同样令 $\Delta \dot{I}'_2 = \Delta \dot{I}_2 e^{j\phi_2}$ ，有**动作判据**为：

$$\Delta U_{2R}(n) \Delta I'_{2R}(n) + \Delta U_{2I}(n) \Delta I'_{2I}(n) > \varepsilon_P \quad (10)$$

考虑到微机保护的固有误差，也为防止干扰误动， ΔP_2 保护增设起动元件，其判据为：

$$|\Delta U_2| > \varepsilon_u \quad (11)$$

$$|\Delta i_2| > \varepsilon_i \quad (12)$$

当变组尚未与系统并列运行时， Δi_2 和 ΔP_2 均为零，相应保护不起作用，此时以负序电压增量起动元件 $|\Delta u_2| > \varepsilon_U$ 作为该时的辅助保护。

5 负序功率增量方向保护与比率制动特性差动保护的灵敏度比较

ΔP_2 保护的動作整定值取为模拟式保护動作值^[1]的一半,即 0.57×10^{-3} 标么值,差动保护的動作整定如图 2。

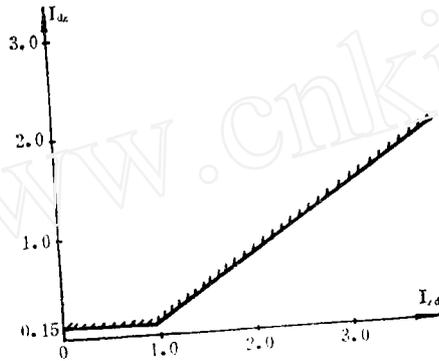


图 2

对一台模拟发电机作内部相间和匝间短路的数字仿真计算(其结果经动模试验校核),两种保护灵敏度如表 1 所示^[4]。

完全如预料那样,纵差保护对各种匝间均不反应,只能对相间短路起保护作用。 ΔP_2 保护即使取用过大的動作值,仍能对相间短路和大部分匝间短路起保护作用。毫无疑问, ΔP_2 微机保护的動作值 ε_p 将远小于 $0.57 \times 10^{-3} \text{ p.u.}$, 匝间短路灵敏度也将大大提高。

6 变压器微机保护新原理

前述 ΔP_2 构成变压器的一套主保护。当变压器产生励磁涌流时,由于三相铁心饱和程度不同,三相励磁阻抗各异,势必引起自变压器流出的负序功率(增量),造成 ΔP_2 保护误动,为此应装设防涌流误动措施。对于发变组的升压变压器没有空投的运行工况,只要考虑切除近区外部短路引起的电压恢复状态,因此可以采用下述简单的闭锁判据:

$$U_M(n) > K U_M(n-N) \quad K = 1.15 \sim 1.35$$

式中 $U_M(n)$ 为以第 n 点采样值为最新采样值计算得到的高压母线电压的幅值。

主变的第二套主保护是考虑变压器非线性励磁特性的微机保护。^[3]

如图 3 所示,主变一般均为 Δ/Y_0 接线,以图 3 为例可写出:

$$u_A[(n-0.5)\Delta T] = (L_A/\Delta T) \{i_A[n\Delta T] - i_A[(n-1)\Delta T]\} + (L_A/\Delta T) \{i_0[n\Delta T] - i_0[(n-1)\Delta T]\} + (L_s/\Delta T) \{i_s[n\Delta T]$$

$$-i_e [(n-1)\Delta T] + u_e [(n-0.5)\Delta T] \quad (13)$$

同理有B(b)相、C(c)相表达式 (14)、(15)。

表1 两种保护灵敏度的分析计算

短路类型	短路方式	比率制动式纵差保护								负序功率增量方向保护					
		A 相				B 相				C 相	U ₂ (V)	I ₂ (A)	P ₂ (W)	P ₂ %	K _{1m}
		I _{op}	I _{zd}	I _{dz}	k _{1m}	I _{op}	I _{zd}	I _{dz}	k _{1m}						
支路间 内部 短路	A ₁ 11.1%—中点									8.8	5.8	20.4	0.68	1.19	
	A ₁ 22.2%—11.1%	0	0	0	0	0	0	0	0	8.4	5.6	18.7	0.62	1.09	
	A ₁ 33.3%—22.2%									9.3	6.1	22.6	0.75	1.32	
	A ₁ 44.4%—33.3%									9.6	6.3	24.1	0.80	1.40	
	A ₁ 55.6%—44.4%	0	0	0	0	0	0	0	0	8.7	5.8	20.0	0.67	1.18	
	A ₁ 66.7%—55.6%									10.0	6.6	26.2	0.88	1.54	
	A ₁ 77.8%—66.7%	0	0	0	0	0	0	0	0	9.7	6.4	24.8	0.83	1.46	
	A ₁ 88.9%—77.8%									8.2	5.4	17.6	0.59	1.04	
A ₁ 100%—88.9%									8.2	5.4	17.7	0.59	1.04		
支路间 内部 短路 38%	A ₁ 40%—2%									32.5	21.5	276.6	9.22	16.2	
	B ₁ 40%—2%	0	0	0	0	0	0	0	0	30.3	20.0	239.6	8.00	14.0	
	A ₂ 40%—2%									27.2	18.0	194.9	6.52	11.4	
	A ₁ 98%—60%	0	0	0	0	0	0	0	0	31.6	20.8	261.6	8.72	15.3	
匝间 短路	A ₁ 22.2%—中点									14.9	9.8	58.0	1.93	3.39	
	A ₁ 44.4%—中点	0	0	0	0	0	0	0	0	37.3	24.6	364.4	12.1	21.2	
同路 不同 支路 短路	A ₁ 20%—A ₂ 10%									3.7	2.4	3.51	0.12	0.21	
	B ₁ 20%—B ₂ 10%	0	0	0	0	0	0	0	0	3.6	2.4	3.07	0.10	0.18	
	C ₁ 20%—C ₂ 10%									3.4	2.3	3.36	0.11	0.19	
相间 短路	A ₁ 20%—B ₁ 10%	12.1	5.52	3.31	3.66	11.05	5.10	3.02	3.04	19.9	13.1	103.5	3.45	6.05	
	A ₂ 20%—B ₁ 10%	7.28	3.67	2.02	3.60	7.44	3.19	1.68	4.43	25.3	16.7	167.7	5.59	9.81	
	A ₁ 20%—B ₂ 10%	5.53	2.95	1.52	3.64	6.46	2.94	1.51	4.28	20.5	13.6	112.8	3.76	6.60	

注: A₁、A₂、B₁、B₂、C₁、C₂为发电机三相六支路

I_{op}—差动电流(仿真计算)

I_{zd}、I_{dz}—制动电流和动作电流(由图2查得)

K_{1m}—灵敏系数

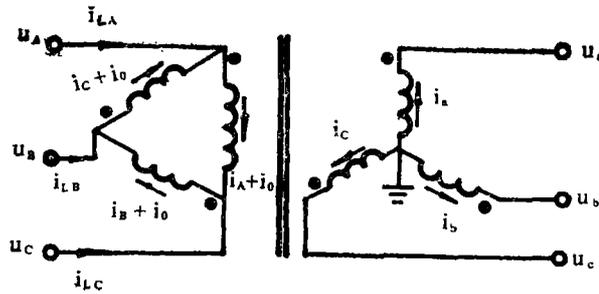


图 3

式中 ΔT 为采样间隔, L_A 、 L_a 各为 A 相和 a 相漏电感, 其余符号见图 3。

由于 i_A 、 i_B 、 i_C 、 i_0 不能直接测量, 故将式 (13) 改写为:

$$\{i_0 [n \Delta T] - i_0 [(n-1) \Delta T]\} = (\Delta T/L_A) u_A [(n-0.5) \Delta T] - \{i_A [n \Delta T] - i_A [(n-1) \Delta T]\} - (L_a/L_A) \{i_a [n \Delta T] - i_a [(n-1) \Delta T]\} - (\Delta T/L_A) \{u_a [(n-0.5) \Delta T]\} \quad (16)$$

$$\text{并有 } i_A = (i_{LA} - i_{LC})/3, i_B = (i_{LC} - i_{LB})/3, i_C = (i_{LB} - i_{LA})/3 \quad (17)$$

由采样值 i_{LA} 、 i_{LC} 、 i_a 、 u_A 、 u_a , 按式 (16) (17) 可求得 $i_0 [n \Delta T] - i_0 [(n-1) \Delta T]$, 以此代入式 (13)。对于 B 相 C 相有式 (14)、(15), 也可写出类似式 (16) 的算式。

当正常运行、空载合闸或外部故障时, 式 (13)、(14)、(15) 均成立; 当变压器内部短路时, 这些式子的左方 \neq 右方, 保护动作判据为:

$$\text{式 (13)、(14)、(15) 的左方} - \text{右方} = |\text{误差}| > \epsilon$$

通常取 $\epsilon = 0.025 p. u.$

该保护动作特性如图 4 所示。

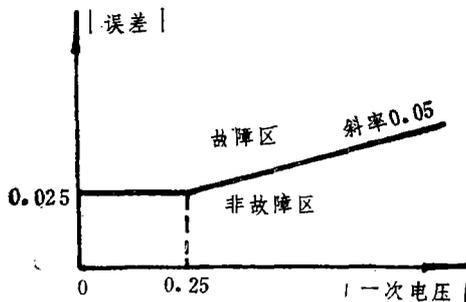


图 4

7 结束语

本文针对大型发电机变压器组的微机保护, 根据发电机内部短路的计算资料, 提出了主保护的新判据。工作刚开始, 限于作者水平, 考虑不周之处请读者指正。

高压电网各类高频保护的综合同整定计算实用程序

东北电力学院 王静茹

摘要

本文着重介绍220kV及以上线路的主保护(包括相差高频、方向高频、距离高频保护)采用计算机进行综合整定计算的方法,并按此方法编制了FORTRAN语言的源程序,在VAX-11/750机上调通,代入例题试算结果正确。

程序的特点是采用了占用内存少的稀疏导纳阵,计算中考虑了零序互感的影响。程序中短路电流、相差高频保护整定、方向高频保护整定、距离高频保护整定计算的子程序分别独立,适应性强,运用灵活,使用方便。特别是相差高频保护中的九族灵敏度曲线、方向高频保护中的负序动作功率曲线已全部编入程序中,可在程序中自动校验灵敏度,从而减小了人工校验的麻烦。程序可适用于220kV及以上的电力系统,能满足多方面的要求。计算速度快。

概 述

高频保护的特点是动作速度快,因它不需要与相邻元件相配合故可实现全线速动,在电力系统中作为超高压线路的主保护,具有举足轻重的地位。

本文是在原有相差、方向高频保护整定计算程序的基础上,为适应500kV系统的需要,又增加了距离高频保护的整定计算程序,并完善了原有程序,即将相差高频保护的九族灵敏度曲线及方向高频保护的负序动作功率曲线编入程序中,这样可利用该曲线在程序中自动校验其灵敏度。至此,高压电网的高频保护整定计算程序已趋完整,可以在220kV及以上电力系统中推广使用。

程序的特点:

(1) 程序可进行各种类型的短路电流计算(包括三相短路、两相短路、两相接地短路和单相接地短路)计算结果用表格输出。

参考文献

- 1.《大型机组继电保护理论基础》 王维俭 侯炳蕴 水电出版社 1982年
- 2.《同步电机定子绕组故障瞬变全过程数字仿真及其微机继电保护新原理的研究》 尹项根 华中理工大学博士论文 1989年
3. T.S.Sidhu M.S.Sachdev H C wood "DETECTING TRANSFORMER WINDING FAULTS USING NON-LINEAR MODELS OF TRANSFORMERS"
IEE Fourth International Conference on DEVELOPMENTS IN POWER SYSTEM PROTECTION P 70 1989
- 4.《同步电机定子绕组不对称状态的研究》 张龙照 清华大学博士论文 1989年