

用低阻抗保护作为母线后备保护的可能性探讨

水利电力部西北勘测设计院 田又涵 文隍秀

摘 要

本文根据电力网阻抗保护的基本计算方法,对装设在发电机—变压器组高压侧的低阻抗保护进行了计算。计算结果表明,在不同支路发生故障时,测量阻抗与短路地点的关系有基本相似的规律。对这些规律进行分析的结果说明,装设在发电机—变压器组高压侧的低阻抗保护可以作为母线相间故障的后备保护。本文还对各有关因素对低阻抗保护的影响进行了初步的讨论。

一、前 言

运行经验表明,发电厂或变电所的母线发生单相接地故障和多相短路故障的可能性还是存在的,这是由于母线绝缘子或断路器套管可能发生闪络;运行人员可能误操作(如带地线合闸及带负荷拉刀闸等)而造成。母线上常联有较多的电气元件,母线故障将使这些元件停电,从而造成大面积停电事故,并可能造成系统失去稳定,使事故进一步扩大,可见,母线故障是电气设备最严重的故障之一。

目前,使用较多的有母线差动保护,电流比相式母线保护等,这些母线保护,由于各种因素的限制而不能起到应有的作用,这使得母线保护仍然是系统保护中的薄弱环节,因此,寻求一种比较可靠的保护型式作为母线的后备保护是有一定实际价值的。

本文通过计算分析,试图用装设在发电机—变压器组高压侧的低阻抗保护作为母线后备保护,并对各有关的因素对保护的影响做了初步的讨论。

二、计算方法及结果

1. 助增电流与汲出电流对阻抗保护的影响:

当保护安装地点与故障点之间接有其它电源时,这些电源输送着附加的电流给故障点,这些电流不流过继电器,但要在故障线段上产生附加的压降,改变了继电器端子上的测量电压,也就改变了保护的测量阻抗 Z_m ,如图1所示的情况。

当BD线路上某一点发生短路时,A端保护装置的测量阻抗为 $Z_{m, A}$

$$\begin{aligned}
 Z_{m \cdot A} &= \frac{l_{AB} Z_0 l_{AB} + l_{BD} Z_0 l}{I_{AB}} \\
 &= Z_0 l_{AB} + \frac{I_{AB} + I_{CB}}{I_{AB}} Z_0 l \\
 &= Z_0 l_{AB} + K_A Z_0 l \quad (1)
 \end{aligned}$$

式中, Z_0 为单位长度线路阻抗

$$K_A = \frac{I_{AB} + I_{CB}}{I_{AB}}$$

由(1)式可见, $Z_{m \cdot A}$ 并不等于A点到故障点的阻抗。若电流 I_{CB} 的实际方向与图示方向相同, I_{CB} 称助增电流, $I_{BD} > I_{AB}$, $K_A > 1$, 若电流 I_{CB} 的实际方向与图示方向相反, I_{CB} 称汲出电流, $I_{BD} < I_{AB}$, $K_A < 1$ 。 K_A 称为分支系数。

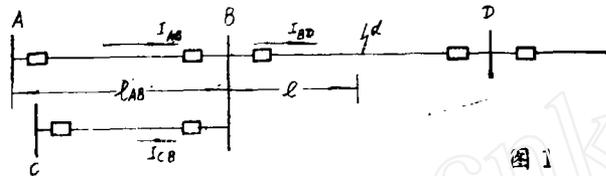


图 1

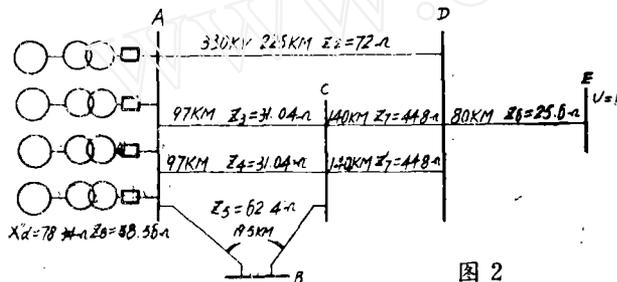


图 2

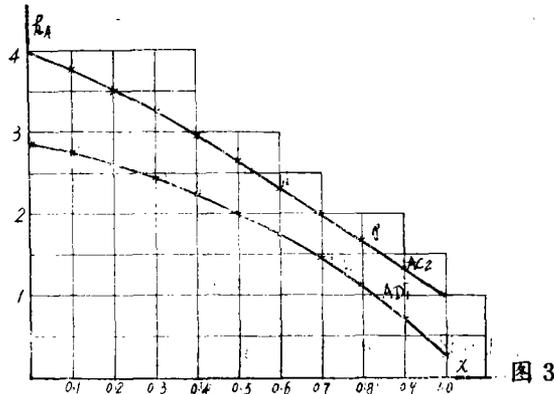


图 3

2. 在比较复杂的网络中, 由于短路点不同, 网络内电流分布也不同, K_A 之值也随之变化。本计算以短路点的位置 X (短路点距保护装设处的距离占全线长度的百分数) 为已知量, 求解不同线路的分支系数。

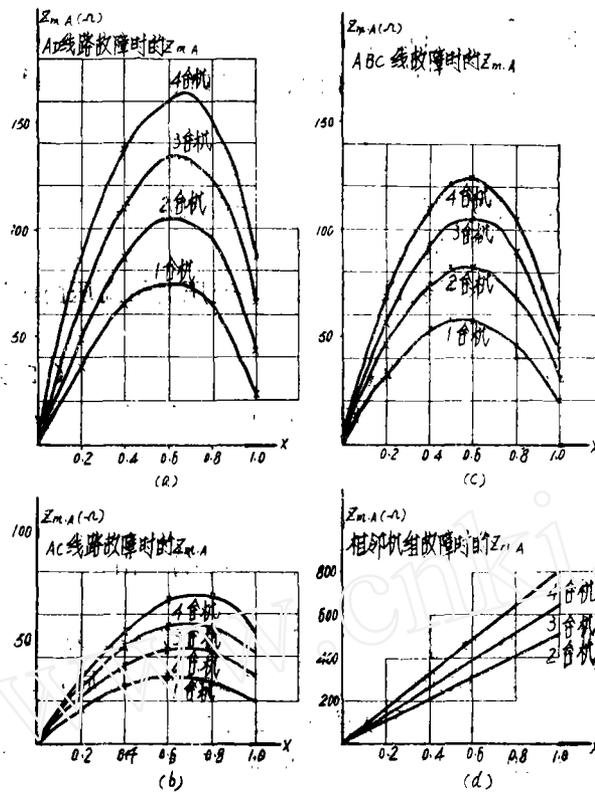


图 4

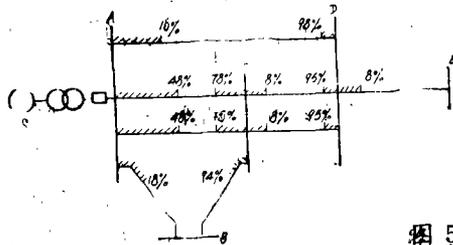


图 5

这里采用我国某330KV电网作为计算的网路(见图2),所有参数均归算至330KV侧。

图2中,A为所计算的电站,有4台相同的发电机—变压器组,E为无穷大电源的母线, $U=1$,计算所得的数据为:

发电机: $Z_T = X_d'' = 78.34 \Omega$

变压器: $Z_B = 58.56 \Omega$

线路AD: $Z_2 = 72 \Omega$

线路AC(每一回线): $Z_3 = Z_4 = 31.04 \Omega$

线路ABC: $Z_5 = 62.4 \Omega$

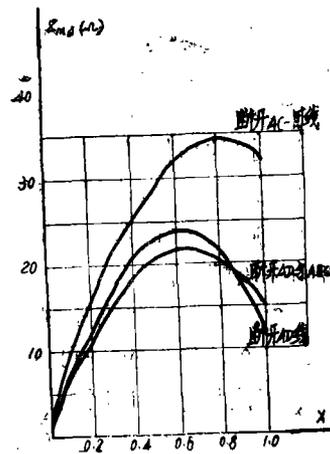


图 6

线路DE, $Z_6 = 25.6 \Omega$

线路CD (每一回线) $Z_7 = 44.8 \Omega$

根据上述参数, 可求得当A电站有不同机组数时各线路上短路时的分支系数 K_A , 计算方法见附录一, K_A 见表F—1。

由表F—1的 K_A 表达式所做出的 $K_A \sim X$ 曲线可见, 在不同线路上发生故障时, 分支系数 K_A 均随 X 的增大而下降, 图3是A电站一台机运行, AD线故障及电站二台机运行, AC线路故障时的 $K_A \sim X$ 曲线。

根据以上分支系数可以求得装设在发电机—变压器组高压侧的保护装置的测量阻抗为

$$Z_{m..A} = K_A(X) Z_X \quad (2)$$

式中, Z 为故障线路的总阻抗值。各线路在不同机组数运行时的 $Z_{m..A}(X)$ 曲线见图4。

三、讨论与分析

1. 由图4可见, 在AD, ABC, AC各线路上发生故障时, $Z_{m..A}$ 不是随 X 作线性变化, 它在 $X = 0.6 \sim 0.8$ 的范围内某一点取得最大值, 此后, 直至 $X = 1.0$ 单调下降。当A电站有一台机运行时, $Z_{m..A}(X)$ 曲线偏最下方。

若装设在A电站发电机—变压器组高压侧的低阻抗保护的定值 $Z_{set..A}$ 大于某线路 $X = 1.0$ 时的 $Z_{m..A}$, 则该保护将对应于该线路两个动作区, 即靠近A电站母线故障及靠近出线对侧母线附近故障, 保护均能动作, 例如若取 $Z_{set..A} = 30 \Omega$, 则当A电站有一台机运行时, 动作区将如图5阴影部分所示。线路CD的动作区见后面的计算。(见图5)

这种情况对保护的整定很不利。若定值较大时, 线路上会出现两个保护动作区, 低阻抗保护的时限不便确定, 时限不恰当, 则会使保护动作时间过长, 或者使保护越级动作。为此, 应采用较低的定值, 例如, 对图4所示的各种情况, 若 $Z_{set..A} \leq 20 \Omega$, 则保护将只有靠近A电站母线附近的一个动作区, 这样, 保护的时限仅要求与各线路的一段配合。

2. 当变压器高压侧引出线或母线发生金属性相间短路时, 从阻抗保护装置看, $Z_{m..A} = 0$, 保护应能可靠动作。但若故障处发生电弧时, 存在电弧电阻, 该电阻的数值可由下式确定〔1〕:

$$R = \frac{50}{I} (U + 47vt) \quad (3)$$

式中, U ——系统标称电压的千伏数;
 I ——短路电流的安培数;
 R ——弧光电阻(欧姆);
 V ——短路点的风速(公里/小时);

t ——从故障发生时刻起的时间(秒);
对母线保护, 不考虑风速的影响, (3)式可以表达为

$$R = \frac{50U}{I} \quad (4)$$

当A电站母线短路时, 将其短路电流代入(4), 可得到其电弧电阻之值(见表一)。当母线上发生了有过渡电阻R的短路时, 流过该电阻R上的电流是系统的短路电流 I_1 , 设这时流过保护安装处的一次电流为 I_1 , 则比值 $\frac{\Sigma I_1}{I_1}$ 是母线上的过渡电阻R反映在保护一次侧的值与R之比。这里, 假定同样用分支系数 K_A 表示,

$$K_A = \frac{\Sigma I_1}{I_1}, K_A\text{-值见表一。}$$

表一

运行方式	故障型式 项目 运行机组数	两相短路				三相短路			
		短路电流 (A)	电弧电阻 (Ω)	分支系数 K_A	测量阻抗 $Z_{m..A}$ (Ω)	短路电流 (A)	电弧电阻 (Ω)	分支系数 K_A	测量阻抗 $Z_{m..A}$ (Ω)
最大运行方式	4	9578	1.72	6.79	11.68	11060	1.49	6.79	10.11
	3	8317	1.98	5.79	11.46	9604	1.72	5.79	9.96
	2	7058	2.33	4.79	11.16	8150	2.03	4.79	9.72
	1	5797	2.85	3.79	10.80	6694	2.47	3.79	9.36
断开A D线	4	8725	1.89	6.26	11.83	10075	1.64	6.26	10.27
	3	7465	2.21	5.26	11.62	8620	1.91	5.26	10.05
	2	6205	2.66	4.26	11.33	7165	2.30	4.26	9.80
	1	4945	3.34	3.26	10.89	5710	2.89	3.26	9.42
断开A C-回线	4	9276	1.78	6.6	11.75	10711	1.54	6.6	10.16
	3	8016	2.06	5.6	11.53	9256	1.78	5.6	9.97
	2	6756	2.44	4.6	11.22	7801	2.11	4.6	9.71
	1	5496	3.00	3.6	10.80	6346	2.60	3.6	9.36

续表一

运行方式	故障型式 项目 运行机组数	两相短路				三相短路			
		短路电流	电弧电阻	分支系数	测量阻抗	短路电流	电弧电阻	分支系数	测量阻抗
		(A)	(Ω)	K_A	$Z_{m, A}$ (Ω)	(A)	(Ω)	K_A	$Z_{m, A}$ (Ω)
断开ABC线	4	9455	1.75	6.71	11.74	10918	1.51	6.71	10.13
	3	8195	2.01	5.71	11.48	9463	1.74	5.71	9.94
	2	6935	2.38	4.71	11.21	8008	2.06	4.71	9.70
	1	5675	2.91	3.71	10.80	6553	2.52	3.71	9.35
断开与ABC线 AD	4	8546	1.93	6.16	11.89	9868	1.67	6.16	10.29
	3	7286	2.26	5.16	11.66	8413	1.96	5.16	10.11
	2	6026	2.74	4.16	11.40	6958	2.37	4.16	9.86
	1	4766	3.46	3.16	10.93	5503	3.00	3.16	9.48
断开A C-回 D与 线	4	8280	1.99	5.99	11.92	9561	1.73	5.99	10.36
	3	7020	2.35	4.99	11.72	8106	2.03	4.99	10.13
	2	5760	2.86	3.99	11.41	6651	2.48	3.99	9.90
	1	4500	3.67	2.99	10.94	5196	3.18	2.99	9.51
断开与 A A B C C	4	8998	1.83	6.43	11.77	10390	1.59	6.43	10.22
	3	7738	2.13	5.34	11.57	8935	1.85	5.43	10.05
	2	6478	2.55	4.43	11.30	7480	2.21	4.43	9.79
	1	5218	3.16	3.43	10.84	6025	2.74	3.43	9.40
断开双 A 回 C 线	4	8490	1.94	6.12	11.87	9804	1.68	6.12	10.28
	3	7230	2.28	5.12	11.67	8349	1.98	5.12	10.14
	2	5970	2.76	4.12	11.37	6894	2.39	4.12	9.85
	1	4684	3.52	3.12	10.98	5409	3.05	3.12	9.52

由表一可见，在系统（包括A电站）最大运行方式下，母线两相短路时， $Z_{m, A} =$

11.68Ω, 当系统运行方式发生变化时, $Z_{m \cdot A}$ 最多仅增大 2%, 因此, 在保护整定计算时, 可以用这一数值 (11.68) 作为根据。

3. 由图 4 可见, 当 A 电站仅有一台机运行时, 在各线路末端故障, 保护装置的测量阻抗 $Z_{m \cdot A}$ 取得最小值的是 AC 线末端故障, 这一最小的测量阻抗 $Z_{m \cdot A \min}$ 是保护整定的依据。

当网络运行方式变化后, A 电站一台机运行, 在 AC 线上 X 点故障时的分支系数 K_A 见表二。

表二

系统运行方式	分支系数
1. 断开 AC 一回线路	$\frac{7.022X - 10.1938}{X - 4.0527}$
2. 断开 AD 线路	$\frac{9.921X - 11.467}{X - 4.8618}$
3. 断开 AD 与 ABC 路线	$\frac{6.955X - 8.5015}{X - 4.092}$

按照表二的分支系数, 根据式 (2) 可以求出相应的 $Z_{m \cdot A}$, 曲线见图 6。

由图 6 可见, 在断开 AD 线时, AC 线路末端短路, $Z_{m \cdot A} = 12.43\Omega$ 是最小的, 即 $Z_{m \cdot A \min} = 12.43\Omega$, 在确定低阻抗保护的定值时, 应以此为根据。

4. 低阻抗保护的阻抗继电器选择及保护整定计算方法:

(1) 用全阻抗继电器:

(a) 按上述计算求得的 $Z_{m \cdot A \min}$, 考虑可靠系数 $K_r = 1.2$, 返回系数 $K_s = 1.2$, 得装置的启动值

$$Z_{sd} = \frac{Z_{m \cdot A \min}}{K_r \cdot K_s} = \frac{12.43}{1.2 \times 1.2} = 8.63\Omega$$

对于电弧电阻, 同样采用上述可靠性系数 $K_r = 1.2$, 设电弧电阻 R_a , 若

$$Z_{sd} \geq 1.2K_A R_a \quad (5)$$

则 Z_{sd} 为本装置的整定值。

(b) 对于 A 电站, $K_A R_a = 11.68\Omega$, (5) 式不成立, 因而, 上述整定方法的低阻抗保护无法实现。

但是, 若不断开 AD 线路, 或 A 电站至少有两台发电机运行, 则上述 $Z_{m \cdot A \min}$ 可以比 12.43Ω 大, 例如, 当 A 电站一台机运行, 断开 AC 一回线时, 或断开 ABC 线, 或同时断开 AC 及 ABC 线时, 线路末端 C 点短路时的测量阻抗 $Z_{m \cdot A}$ 分别为:

$$Z_{m \cdot A1} = 32.25\Omega \quad Z_{m \cdot A2} = 24.88\Omega \quad Z_{m \cdot A3} = 45.66\Omega$$

若 A 电站有两台发电机运行, 断开 AD 线路, C 点故障时有

$$Z_{m \cdot A4} = 24.86\Omega$$

取上述各数值中最小者为 $Z_{m \cdot A \min}$, 则

$$Z_{m \cdot A \min} = 24.86\Omega$$

重新整定有

$$Z_{qd} = \frac{24.86}{1.2 \times 1.2} = 17.26 \Omega$$

而 $K_A \cdot K_A R_a = 1.2 \times 11.68 = 14.01 \Omega$

$$\therefore Z_{qd} > K_A K_A R_a$$

综上所述，当用线路短路时最低的测量阻抗整定，不能满足要求时，可以按仅次于最低值的另一测量阻抗来整定，这时，保护的投入将受到运行方式的限制，在本计算中，若A电站仅有一台机运行而AD线路又处于断开状态时，低阻抗保护应退出运行。

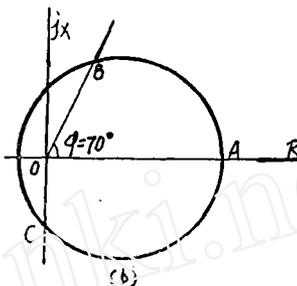
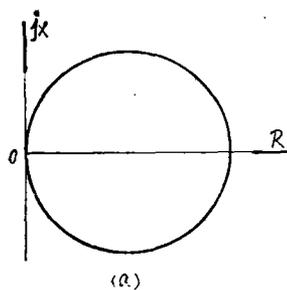


图 7

(2) 用偏移特性的阻抗继电器。

由前述讨论可知，在母线附近发生非金属性短路时，低阻抗保护应能可靠动作，保护的最大灵敏角应取作 $\varphi_L = 0^\circ$ ，即装置可以采用具有如图 7 (a) 所示特性的阻抗继电器，但当母线上发生故障而过渡电阻 $R_a = 0$ 时， $Z_{m.A}$ 将落于原点，装置可能拒动，为此，采用如图 7 (b) 所示特性的阻抗继电器，其偏移度可取 10%。(见图 7)。

在图 7 (b) 中， $OA = K_A K_A R_a = 14.01 \Omega$ ，射线 OB 为线路发生故障时的测量阻抗的轨迹，计算得线段 $OB = 7.08 \Omega$ ， $OB < Z_{qd}$ ，即线路远方故障时，装置不会误动。

(3) 在采用了具有偏移园特性的阻抗继电器之后，它对反向故障也有一定的保护能力，由图 7 (b) 可见，它在反向的最大保护范围是 OC (假定反向故障的相角 $\varphi = 90^\circ$ ，即只有电抗，没有电阻)，由计算得， $OC = 4.43 \Omega$ ，它仅占变压器阻抗的 7.56%。由此可见，偏移特性的阻抗继电器对主变的保护是很小的。

(4) 由母线短路时的电弧电阻 R_a 所形成的测量阻抗 $K_A R_a$ 与线路短路时的阻抗间的幅角有很大差别，用偏移园特性的阻抗继电器可以区分不同的短路。若用图 8 所示椭圆形特性的阻抗继电器，它比偏移园特性的阻抗继电器有更好的性能。(见图 8)

如所周知，椭圆上各点至两焦点 (O' 、 D') 距离之和为一常数，此常数为椭圆之长轴 ($2a$)，设座标原点取在一个焦点 O' 上，则椭圆的矢量方程为

$$|Z| + |Z - d| = 2a$$

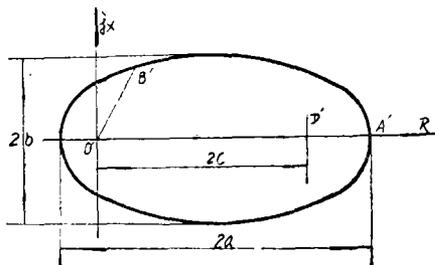


图 8

式中, $d = |0'D'|$, 图中, $2c$ 为焦距, $2b$ 为短轴, $c^2 = a^2 - b^2$, $e = \frac{c}{a}$, 称离心率, $K = \frac{b}{a}$ 称偏心率。继电器的动作条件为 $|Z| + |Z - d| \leq 2a$ 。

对比图8与图7可知, 当它们在R轴方向的长度 $0'A' = 0A$ 时, 则 $0'B' < 0B$, $0'C' < 0C$, 并且, 随着离心率 e 的变小, 即偏心度的变小, $0'B'$ 与 $0B$, $0'C'$ 与 $0C$ 的差别越大, 就此而言, 无论系统状况如何, 按上述原理构成的低阻抗保护总是可以实现的。

(5) 从设备结构的复杂性上来看, 全阻抗继电器最简单, 调整方便; 椭圆形特性的阻抗继电器结构最复杂, 调整不方便。因此, 当系统计算的结果说明, 采用全阻抗继电器能满足要求时, 应尽量采用全阻抗继电器, 只有在全阻抗继电器不能满足要求时, 才应考虑采用偏移圆特性的阻抗继电器或椭圆特性的阻抗继电器。

5. 相邻线路故障时, 对低阻抗保护动作情况的校核:

当相邻线路发生故障时, 如CD线路上某一点X故障, 设A电站一台机运行, 系统等值电路简化如图9所示, 图中 Z_2 为原网络 Z_3 、 Z_4 、 Z_5 之并联结果。(见图9)

设从AC线路看出的分支系数为 K' , 按相同的计算方法可得

$$K' = \frac{2.391X - 2.595}{X - 1.351}$$

从A电站保护装置处看到AC线的分支系数为:

$$K_A = \frac{3.256X^2 - 7.655X + 4.398}{X^2 - 3.694X + 2.713}$$

因而, 测量阻抗为

$$Z_{m.A} = K_A [12.43 + K'(X) \cdot 44.8X]$$

图10中, 曲线1表示A电站一台机运行时的 $Z_{m.A} \sim X$ 的关系, 曲线2表示A电站两台机运行时的 $Z_{m.A} \sim X$ 的关系, 由图可见。

(1) 在CD线路上X点故障时, $Z_{m.A}$ 与X的关系与前述各线路故障时的规律大体相同, $Z_{m.A}(X)$ 曲线有一个最大值。

(2) A电站一台机运行时 $Z_{m.A}(X)$ 曲线在两台机运行时曲线的下方, 由此可见, 在A电站有1~4台机运行时, 一台机运行时的 $Z_{m.A}(X)$ 曲线是偏于最下方的。

(3) D点故障时的测量阻抗大于C点, 因而, 按照C点故障时(对AC、ABC线路是 $X = 1$)的测量阻抗确定的整定值, 对于CD线路的任意点故障, 可以保证装置不会误动作。

6. 根据以上讨论, 低阻抗保护整定计算中所依据的几个数据, 其计算方法总结如下:

(1) 线路末端故障时的最小测量阻抗 $Z_{m.Amin}$: 仅计算电站有一台机运行时, 网络在各种运行方式下, 各条直接送出线末端故障时的分支系数 K_A , 即计算与电站一级相关*的节点短路时的分支系数 K_A , 根据 K_A 按式(2)计算 $Z_{m.A}$, 选其最小者为 $Z_{m.Amin}$ 。

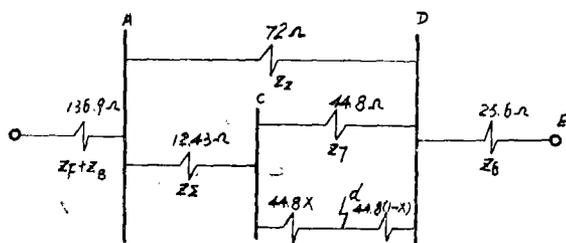


图 9

(2) 母线发生电弧性短路时, 对电弧电阻 R_a 的测量阻抗 $K_A R_a$: 用系统 (包括电站) 在最大运行方式下母线发生两相短路时的短路电流, 根据式 (4) 计算 R_a , 并计算该方式下的分支系数 K_A , 即可求得测量阻抗 $K_A R_a$ 。

7. 保护装置的直流电路可能实现的方案:

(1) 断线闭锁与零序电压闭锁:

阻抗保护的电压取自 PT 二次侧, 当 PT 二次回路断线时, 接至保护回路的相电压或线电压降低, 甚至使电压完全消失, 从而引起阻抗继电器误动作, 为此, 应考虑断线闭锁装置。

断线闭锁装置除应具有上述作用外, 还应保证在被保护范围内发生相间短路时不动作。对于用作母线后备保护的低阻抗保护装置, 它还应保证, 当系统内有零序电压时, 能可靠地动作。其原因是, 在前述讨论中, 对网络发生两相短路及三相短路时的情况进行了计算, 其结果表明, 不恰当的定值会使保护装置对系统的故障有两个动作区, 从而使保护有可能越级动作。当系统发生接地故障时, 其故障电流和系统运行方式及主变中性接地点个数、位置有很大关系, 即其电流的分布状况有较大的离散性, 因而, 以上仅就两相及三相短路进行的讨论, 对于接地故障并不适用。图 11 所示的闭锁装置具有这些作用。

当二次回路断线或系统发生接地故障而出现零序电压时, 由 C_A 、 C_B 、 C_C 组成的零序电压滤过器的中性点侧将出现零序电压, 将保护装置的“+”电源切断, 从而使保护装置退出工作。图中电容 C 的作用是防止 PT 二次三相断线时, 电压继电器不能启动而设的。

(2) 瞬时测定装置:

它是把距离元件的最初动作状态, 通过启动元件的动作而固定下来, 当电弧电阻增大时, 距离元件不会因之而返回, 仍以预定时限跳闸, 其动作原理见图 12。

在短路瞬间, 启动元件 FLJ (负序电流元件)、阻抗测量元件 ZKJ、过流继电器 LJ (或 LJ_1 、 LJ_2) 启动并通过 ZJ 自保持, 此后, 保护装置的動作即与 ZKJ 动作与否无关。

(3) 振荡闭锁:

* 指仅经过一条线路与电站母线相关联的节点。

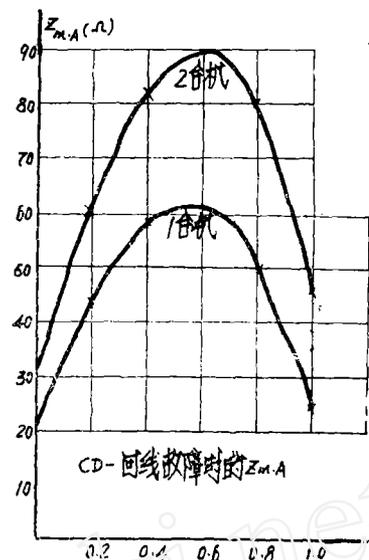


图 10

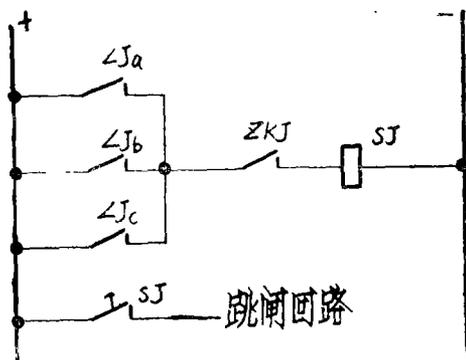


图 13

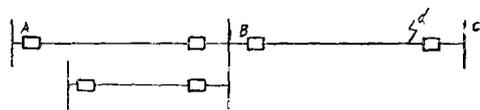


图 14

在图13中,取掉了振荡闭锁与瞬时测量两部分。对于母线上的相间短路,如不考虑风速的影响,则电弧电阻的变化可以不计,因而可以略去瞬时测量部分。另外,若低阻抗保护的 动作时限 大于 $1.5''$,则可以不考虑振荡的影响。

8.距离保护 II 段一般延伸到下段线路的 $30\sim 40\%$,按本文计算的结果,距离 II 段保护范围的确定,除了按照一般的要求校验外,还应校验它的定值是否使保护有了两个动作区。

(见图14)

在图14中, A 的距离保护 II 段应保护到 B C 线距 B 端 $30\sim 40\%$ 的范围。当 C 处短路时,应该由 B 开关的距离 II 段动作切除故障,但若 A 保护的 II 段也能动作,则扩大了故障的影响,这是应当引起注意的。

四、结 论

1.装设于主变高压侧的低阻抗保护可以作为母线的后备保护。采用全阻抗继电器的低阻抗保护,对某些电网(如本文举例的电网),当系统在较小的运行方式下,保护应退出运行。

2.采用具有偏移圆特性的阻抗继电器或椭圆特性的阻抗继电器,有利于满足作为母线后备保护的 低阻抗保护的整定条件 ,并有可能提高保护的灵敏度。

由于偏移圆特性或椭圆特性的阻抗继电器结构复杂,整定不便,在采用全阻抗继电器能满足要求的情况下,应尽量采用全阻抗继电器。

无论采用哪种阻抗继电器,它们对主变的保护范围都很小,可以不予考虑。

3.根据本文计算结果说明,在整定线路距离保护 II 段的定值时,应校验它的动作区是否有两个,以防止保护越级动作,扩大事故影响。

五、附 录

附录一:分支系数的计算方法:

设 A 电站两台机运行,并设线路 AC 某一回线发生两相短路,其计算网络经化简后如图 F—1 所示。

$$\text{图中: } I_1 = \frac{1}{2} (I_2 + I_3 + I_2)$$

$$Z_2 = Z_5 // Z_4 = 20.73 \Omega$$

$$K_A = \frac{I_3}{I_1}$$

表F—1, 分支系数 K_A 的计算结果

运行 机组数	短路 支路	A D	A C	A B C	相邻 机组
1		$\frac{5.61X - 5.95}{X - 2.05}$	$\frac{14.58X - 17.75}{X - 5.845}$	$\frac{16.21X - 17.66}{X - 5.66}$	/
2		$\frac{7.40X - 8.11}{X - 2.091}$	$\frac{18.64X - 23.63}{X - 5.846}$	$\frac{23.42X - 25.9}{X - 5.861}$	3.79
3		$\frac{9.15X - 10.22}{X - 2.093}$	$\frac{22.62X - 29.38}{X - 5.84}$	$\frac{26.42X - 29.56}{X - 5.46}$	4.79
4		$\frac{10.87X - 12.29}{X - 2.091}$	$\frac{26.73X - 35.29}{X - 5.85}$	$\frac{33.32X - 37.59}{X - 5.859}$	5.79

列方程组:

$$\begin{cases} I_2 Z_2 = I_2 Z_2 + \frac{1}{2} Z_7 (I_2 + I_3) \\ I_3 Z_3 X = I_3 Z_3 + (I_2 + I_3 + I_2) (1 - X) Z_3 \\ \frac{1}{2} Z_1 (I_2 + I_3 + I_2) + I_2 Z_2 - I_3 Z_3 \end{cases}$$

以 I_2 、 I_3 、 I_2 为求解对象, 并代入各已知值得:

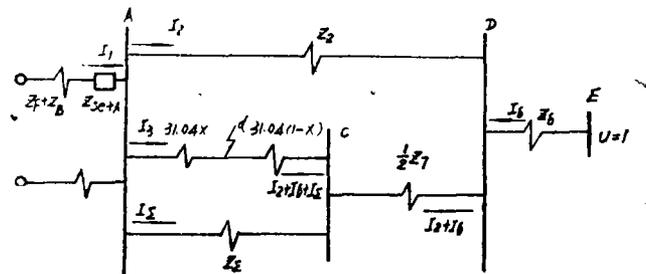
$$I_3 = \frac{4.96X + 40.368}{-46.14X + 58.48} I_2$$

$$I_2 = \frac{6.46X - 13.16}{-46.14X + 58.48} I_3$$

$$I_2 = \frac{34.72X - 16.377}{-46.14X + 58.48} I_3$$

由以上 I_2 、 I_3 、 I_2 可求得 I_1 并代入 $K_A = \frac{I_3}{I_1}$ 得:

$$K_A = \frac{18.64X - 23.63}{X - 5.846}$$



图F—1

六、参 考 文 献

- [1] “高压电网继电保护原理与技术” 朱声石 1981
[2] “电力系统继电保护原理与运行” 华中工学院 1981
[3] “电力系统故障分析” [美] P.M.Andson等 1978
[4] “电力系统继电保护” 山东工学院 山东电力局 1979
[5] “高压电网继电保护运行技术” 王梅义等 1981
[6] “电力系统故障分析” 华北电力学院 1979
[7] “短路电流实用计算” 西安交通大学 西北电力设计院
西北勘测设计院 1982
[8] “电力系统电磁暂态过程” 西安交通大学 1964

微机继电保护及其工程算法

许昌继电器研究所 於学煌

一、概 况

利用计算机实现电力系统继电保护功能的思想产生于60年代末期。美国和澳大利亚最早进行了用小型计算机实现输电线路距离保护的尝试，从算法语言和系统试验两个方面进行了开创性的探索，其成果激起了人们对计算机保护(Computer Relaying)的广泛兴趣，并从理论和实践方面产生深刻的影响。

具有代表性的研究工作有：