

叠加交流电压转子一点接地保护误动的分析

高春如 华东电管局望亭发电厂 (215155)

摘要 本文对目前国内广泛用于大机组的叠加交流电压构成的转子一点接地保护进行分析,从而将常用的两种转子一点接地保护,归结为相同的电阻判据,当转子绕组对地电容较大时,轴电刷的接触电阻 ΔR 对测量等效电阻的数值影响很大,当轴电刷接触电阻达到一定数值时,是造成该继电器在运行中频繁误动的主要原因。文中建议大机组应采用新原理的乒乓式转子一点接地保护为佳。

关键词 转子接地、导纳型、有功分量、电导判据、电阻判据

1 概况

目前用叠加交流电压构成的转子一点接地保护有下列三种类型。

第一类以叠加交流电压测量转子对地全电流方法构成的转子一点接地保护装置,如 ZBZ-2A 型继电器,其动作判据是: $I_{CL} \geq I_{ZD}$ (1)

由于 $I_{CL} = \frac{U}{Z_{CL}}$, $I_{ZD} = \frac{U}{Z_{ZD}}$ 则式 1 也可变成 $Z_{CL} \leq Z_{ZD}$ (2)

式中 I_{CL} 为叠加交流电压 U 作用下转子绕组通过地的全电流, I_{ZD} 为继电器的整定电流, Z_{CL} 为叠加交流电压 U 后转子绕组对地的测量阻抗, Z_{ZD} 为继电器的整定阻抗。这种继电器广泛用于转子绕组仅有较小对地电容的中、小型发电机组的转子一点接地保护。

第二类,以叠加交流电压测量转子绕组对地导纳方法构成的转子一点接地保护装置如 LD-5A 型导纳继电器,其动作判据是

$$g_{CL} \geq g_{ZD} \quad (3)$$

由于 $g_{CL} = \frac{1}{R_{CL}}$, $g_{ZD} = \frac{1}{R_{ZD}}$

则 3 式可以化为 $R_{CL} \leq R_{ZD}$ (4)

式中 g_{CL} 为转子对地的测量电导, R_{CL} 为转子对地电容的等效并联电阻。 g_{ZD} 为继电器的整定电导, R_{ZD} 为继电器的整定电阻。

第三类,以叠加交流电压利用霍尔元件测量转子绕组对地全电流中电阻分量构成的转子一点接地保护,其动作判据是:

$$I_{CL.r} \geq I_{ZD.r} \quad (5)$$

由于 $I_{CL.r} = \frac{U}{R_{CL}}$, $I_{ZD.r} = \frac{U}{R_{ZD}}$ 式 5 可变为

$$R_{CL} \leq R_{ZD} \quad (6)$$

式中 $I_{CL.r}$ 是转子绕组对地全电流中的电阻分量, $I_{ZD.r}$ 为继电器的整定有功电流,式 6 和式 4 具有相同的意义,由此可知第二、第三类继电器具有相同的动作判据,前者动作边界特性是一圆^[注1],后者动作特性是一直线如图 1b 所示。

图 1a 中,正常情况 R_{CL} 较大时: $I_{CL.r} < I_{ZD.r}$ 继电器不动作。如图 1b 中的 A 点,当 R_{CL} 下
本文 1994 年 2 月 20 日收稿

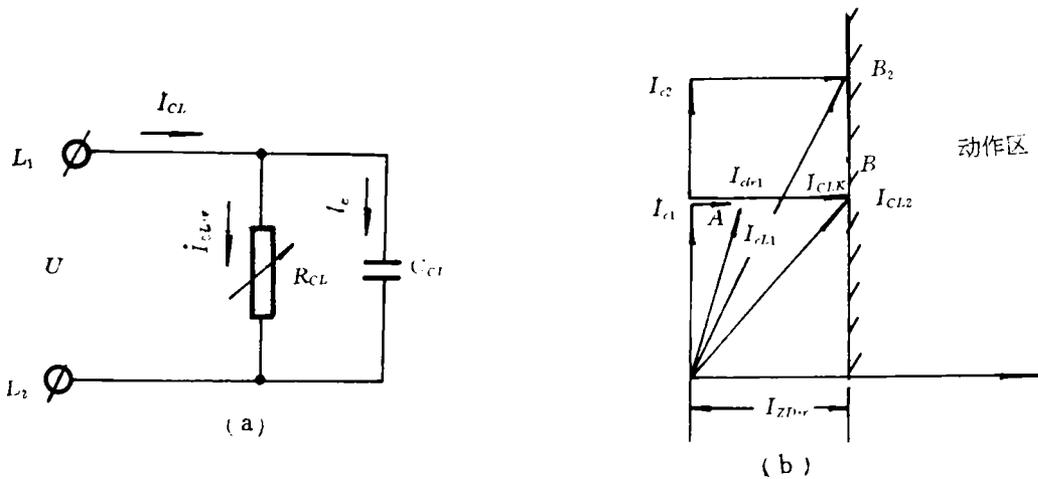


图 1

降至 R_{ZD} 时, $I_{CL.r2} = I_{ZD.r}$ 继电器动作, 如图 1b 的 B 点。不同的 C_{CL} 动作时的电阻分量 $I_{CL.r} = I_{ZD.r}$ 不变, 如在 C_{CL2} 时对应的动作点由 B 点移至 B_2 点。

第一类继电器不适用于转子绕组对地有大电容的转子一点接地保护。第二、第三类继电器从理论上讲, 其动作条件不受转子绕组对地电容的影响, 适用于大型发电机组的转子绕组一点接地保护, 但运行中第二、第三类转子一点接地保护却曾多次频繁的误动, 有时甚至无法投入运行。

2 误动原因分析

转子绕组对地分布电容可用集中电容 C_L 表示, 转子绕组对地的绝缘电阻可用 R_L 表示, 其等效电路如图 2a、b 所示。

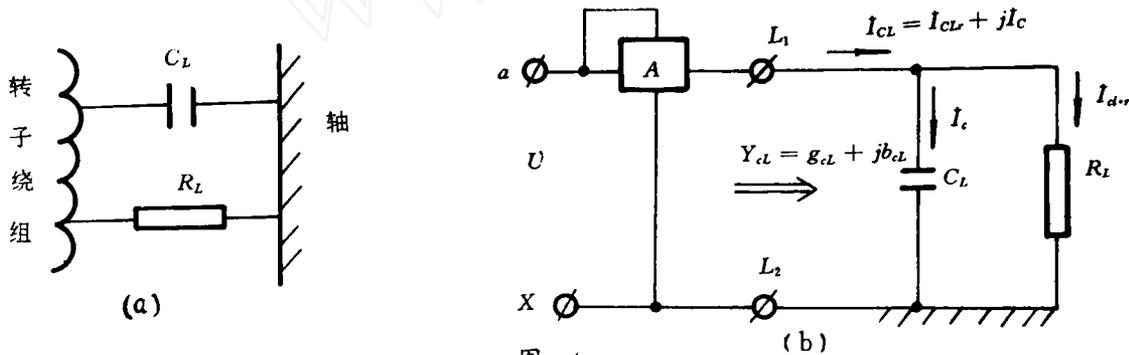


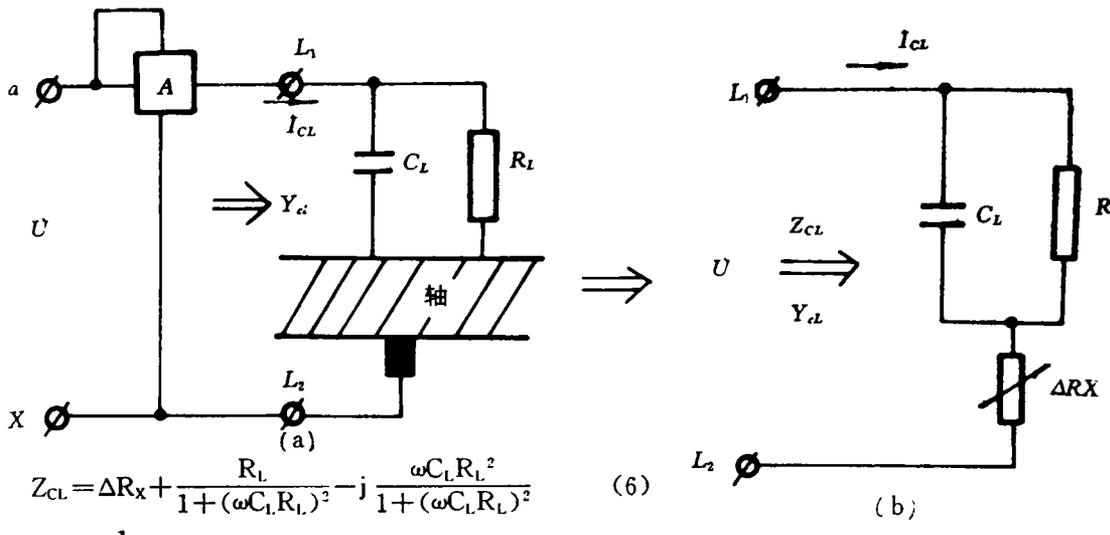
图 2

图 2b 中 A 为叠加交流电压 \dot{U} 的转子一点接地保护装置, 装置 A 测得 L_1 、 L_2 的导纳 Y_{aL} 中的电导 g_{aL} 或全电流 I_{aL} 中电阻分量 $I_{aL.r}$, 均可归结为测量等效并联电阻 $R_{CL} \leq R_{ZD}$ 时继电器动作。实际上地端子 L_2 由轴电刷引出如图 3a 所示, 由于轴电刷和轴滑环之间存在接触电阻 ΔR_x , 其实际等效电路如图 3b, 其简化等效电路如图 3c 所示。

图 3b 中, 由 L_1 、 L_2 测得的阻抗 Z_{aL} , 和导纳 Y_{aL} 可由下式计算

$$Z_{aL} = \Delta R_x + \frac{1}{\frac{1}{R_L} + j\omega C_L}$$

化简后:



$$Z_{CL} = \Delta R_x + \frac{R_L}{1 + (\omega C_L R_L)^2} - j \frac{\omega C_L R_L^2}{1 + (\omega C_L R_L)^2} \quad (6)$$

$$Y_{CL} = \frac{1}{Z_{CL}}$$

$$= \frac{1}{\Delta R_x + \frac{R_L}{1 + (\omega C_L R_L)^2} - j \frac{\omega C_L R_L^2}{1 + (\omega C_L R_L)^2}}$$

化简后:

$$Y_{CL} = \frac{\Delta R_x + \frac{R_L}{1 + (\omega C_L R_L)^2} + j \frac{\omega C_L R_L^2}{1 + (\omega C_L R_L)^2}}{\left[\Delta R_x + \frac{R_L}{1 + (\omega C_L R_L)^2} \right]^2 + \left[\frac{\omega C_L R_L^2}{1 + (\omega C_L R_L)^2} \right]^2} \quad (7)$$

则图 3c 中的等效电阻 R_{CL} 及等效电容 C_{CL} 为:

$$R_{CL} = \frac{\left[\Delta R_x + \frac{R_L}{1 + (\omega C_L R_L)^2} \right]^2 + \left[\frac{\omega C_L R_L^2}{1 + (\omega C_L R_L)^2} \right]^2}{\Delta R_x + \frac{R_L}{1 + (\omega C_L R_L)^2}}$$

即 $R_{CL} = \frac{(\Delta R_x + A)^2 + B^2}{\Delta R_x + A} \quad (8)$

$$C_{CL} = \frac{1}{\omega} \frac{\frac{\omega C_L R_L^2}{1 + (\omega C_L R_L)^2}}{\left[\Delta R_x + \frac{R_L}{1 + (\omega C_L R_L)^2} \right]^2 + \left[\frac{\omega C_L R_L^2}{1 + (\omega C_L R_L)^2} \right]^2}$$

即 $C_{CL} = \frac{B}{\omega (\Delta R_x + A)^2 + B^2} \quad (9)$

式中 $A = \frac{R_L}{1 + (\omega C_L R_L)^2}$, $B = \frac{\omega C_L R_L^2}{1 + (\omega C_L R_L)^2}$

当 $R_L \gg \frac{1}{\omega C_L}$ 时 $B = \frac{1}{\omega C_L}$

则式 8、9 可简化为:

$$R_{CL} = \frac{(\Delta R_x + A)^2 + \left(\frac{1}{\omega C_L}\right)^2}{\Delta R_x + A} \quad (10)$$

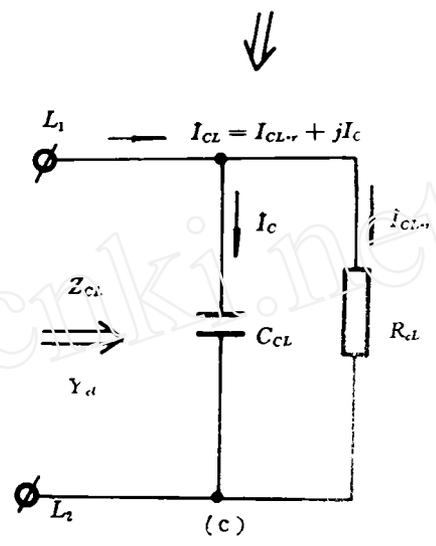


图 3

$$C_{Cl} = \frac{1}{\omega^2 C_L [(\Delta R_x + A)^2 + (\frac{1}{\omega C_L})^2]} \quad (11)$$

由式 8、9 或 10、11 可见,装置测得的电阻 R_{Cl} 和电容 C_{Cl} 在 R_L 不变情况下,均受 ΔR_x 的影响,正常即使 R_L 很大,(如 $100k\Omega$) 但当 $\Delta R_x \neq 0$ 且超过 100Ω 时, R_{Cl} 比实际的转子绕组对地绝缘电阻 R_L 小得多,表 1 为 $R_L = 100k\Omega$, 由式 10、11 在不同的 C_L 、 ΔR_x 时计算的 R_{Cl} 、 C_{Cl} 值。

表 1 $R_L = 100k\Omega$ 、 R_{Cl} 、 C_{Cl} 和 C_L 、 ΔR_x 的关系

C_L (μF)	ΔR_x (Ω)	0	100	150	200	250	300	350	400	500	750	1000	1250	1500	2000
0.5	R_{Cl} ($k\Omega$)	100	80.3	73.2	67.2	62.2	57.9	54.1	50.8	45.4	36.1	30.6	25.98	23	19
	C_{Cl} (μF)	0.5	0.499	0.498	0.498	0.497	0.496	0.495	0.494	0.492	0.486	0.479	0.47	0.46	0.439
1	R_{Cl} ($k\Omega$)	100	50.48	40.5	33.9	29.2	25.6	22.9	20.7	17.4	12.7	10.3	8.8	7.7	6.9
	C_{Cl} (μF)	1	0.997	0.995	0.992	0.989	0.985	0.981	0.977	0.966	0.934	0.894	0.848	0.8	0.7
1.5	R_{Cl} ($k\Omega$)	100	31.1	23.3	18.6	15.6	13.4	11.8	10.6	8.8	8.46	5.35	4.77	4.46	4.25
	C_{Cl} (μF)	1.5	1.49	1.49	1.48	1.47	1.46	1.45	1.44	1.4	1.32	1.2	1.09	0.98	0.778
2	R_{Cl} ($k\Omega$)	100	20.3	14.86	11.5	9.5	8.1	7.1	6.4	5.3	4.05	3.5	3.2	3.2	3.21
	C_{Cl} (μF)	2	1.99	1.98	1.96	1.94	1.92	1.9	1.87	1.8	1.62	1.41	1.22	1.05	0.78
2.5	R_{Cl} ($k\Omega$)	100	14.1	9.9	7.7	6.4	5.4	4.8	4.3	3.7	2.9	2.6	2.5	2.58	2.82
	C_{Cl} (μF)	2.5	2.48	2.46	2.43	2.4	2.38	2.3	2.25	2.14	1.84	1.53	1.26	1.03	0.71
3	R_{Cl} ($k\Omega$)	100	10.2	7.1	5.5	4.57	3.9	3.48	3.15	2.7	2.2	2.12	2.05	2.25	2.55
	C_{Cl} (μF)	3	2.97	2.94	2.89	2.83	2.76	2.69	2.6	2.42	1.98	1.59	1.2	1	0.66

由表 1 可知:①如果转子绕组对地电容 C_L 愈大轴电刷接触电阻 ΔR_x 对测量并联等效电阻 R_{Cl} 的影响愈大,当 $C_L < 0.5\mu F$ 、 $R_{ZD} = 5k\Omega$ 时,继电器不会误动,当 $C_L > 1\mu F$ 、 $R_{ZD} = 5k\Omega$ 时, ΔR_x 在较大时,继电器有误动可能。

②如果接触电阻 $\Delta R_x < 50\Omega$ 、 $R_{ZD} = 5k\Omega$ 时,

C_L 达 $3\mu F$ 时继电器也不可能误动,即只要保证轴电刷接触良好, $\Delta R_x < 50\Omega$ 时,第二、第三类继电器不会误动。

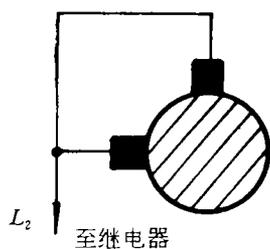


图 4 轴电刷由一块改并两块

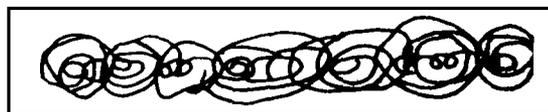


图 5 接地滑环磨损痕迹图

例如我厂有 4 台机组采用导纳型转子一点接地保护装置,整定电阻 $R_{ZD} = 5k\Omega$,运行中均有不同程度的误动,在误动时人为增加轴电刷和轴滑环的压力,使其接触良好,结果误动的继电器立刻返回,其执行元件两端电压由正的動作电压变为负的制动电压,后将轴电刷由一块改

成两块后如图 4 所示,其中三台机的转子一点接地保护误动基本消除。但另一台 300MW 机组先后采用第二、第三类继电器都仍发生多次频繁的误动,每次停机检查,均发现轴接地滑环有明显的规则的磨损痕迹,如图 5 所示,这说明运行中存在轴电刷架有共振现象,引起电刷上、下抖动,造成电刷与滑环之间接触电阻 ΔR_x 在大范围内变化。通过第三类继电器测量到的转子绕组对地全电流中有功分量 $I_{Cl.r}$ 的值可从表针上指示出 $R_{Cl} = \frac{U}{I_{Cl.r}}$,当 $R_{Cl} = 100k\Omega$ 左右时,运行中 R_{Cl} 在 $50 \sim 5k\Omega$ 之间晃动, R_{Cl} 最小可提至 $1.8k\Omega$,每当 R_{Cl} 晃至 $3.2k\Omega$ 左右时继电器误动,后将接地电刷架增加刚度消除刷架共振(提高机械共振频率)后误动基本消除,以上现象和表 1 及式 10、11 结果基本一致。

3 结论

① 用叠加交流电压方法构成的各种类型转子一点接地保护在 200MW 及以上机组使用时易受 C_L 、 ΔR_x 的影响而误动。而 ΔR_x 受滑环表面的油污、积灰、电刷压力降低,电刷在运行中上、下跳动、电刷架刚性差时造成共振……等因素而增加。为防止误动、应力求降低 ΔR_x 使其在运行中任何时刻小于 50Ω 。

② 200MW 及以上的发电机组不宜用叠加交流电压方法构成的各种转子绕组一点接地保护装置,由于乒乓式转子一点接地保护能较好躲过轴电刷接触电阻对装置的影响,所以大机组宜采用乒乓式转子绕组的一点接地保护装置。

参考文献

- 1 王维俭、侯炳蕴. 大机组继电保护理论基础. 北京:水利电力出版社,1982,12,271~284 页
- 2 王祖光. 新原理的发电机转子接地保护. 中国电机工程学会第四次继电保护及安全自动装置学术会议论文集