

BD—14型转子二点接地保护

清华大学电力系 王维俭
许昌继电器研究所 何光华

根据大型机组的特点（转子绕组对地电容大、有时采用双水内冷绕组等）和现有电桥原理的转子二点接地保护装置的缺点（死区大、必须在一点接地后才能投入、设备笨重等），许昌继电器研究所和清华大学电力工程系厂校合作共同研制了利用定子二次谐波电压原理的转子回路二点接地保护新装置。经过一年来的理论研究、装置试制和现场测试，表明新的装置在理论上基本正确、初步满足大型机组转子二点接地故障对保护装置的技术要求。但是还没有经过较长时间的试运行，所以还是很不成熟的。我们准备在试运实践的基础上，继续改进，不断提高，欢迎大家提出改进和建议。

一、转子二点接地故障及其对发电机的危害

转子一点接地故障将使转子回路对地电压升高。在此情况下如果转子回路开关或主断路器在故障中断开，其产生的过电压可能造成第二个故障点，形成二点接地故障。对于双水内冷发电机，由于漏水所引起的二点接地故障，实际上是转子绕组部分匝间短路并接地，时间较快。转子二点接地故障将使得：

（1）一部分转子绕组将被短接，一部分转子线圈中的电流增加，这二者都将使得气隙磁通不平衡，引起发电机剧烈振动。并使得无功出力减小。

（2）转子本体局部通过励磁电流将引起局部发热，使转子缓慢变形而造成偏心，其结果同样会引起发电机振动和损坏。

（3）可能将转子绕组和转子本体烧坏，还将可能使汽机磁化。

总之，二点接地故障对发电机来说，损害是比较严重的，有造成灾难性后果的危险。

因此，对大型机组来说，转子二点接地保护应能及时、准确地反应转子二点接地故障。

二、原有转子二点接地保护存在的问题：

目前汽轮发电机转子绕组二点接地保护大都是利用四臂电桥原理构成的。如图 1 所

示。正常运行时以发电机转子绕组的电阻 R_z 和附加可调电阻 R 分别接至励磁回路两端，假设当转子绕组 D_1 点发生接地故障时，则 D_1 点将电阻 R_z 分为 r_1 和 r_2 两部分，这时人工接通 AN 投入可调电阻 R ，调节其滑动接点，使 $\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_3}{r_4}$ ，四臂电桥平衡， D_1 与 D_1' 同电位，此时毫伏表中读数应为零。然后接通连接片 LP ，将转子二点接地保护装置的电流继电器 J 及电感 L 接入电桥的对角线上，由于

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_3}{r_4} \quad (1)$$

所以继电器 J 中没有电流通过，继电器不动作。在出现第二点（如图1中的 D_2 点）接地时，调节好的电桥臂的平衡关系（式1）被破坏了，接在电桥对角线上的继电器 J 内将流过电流，其值大小决定于电桥臂的不平衡程度。当通过继电器 J 的电流 $I_1 > I_2$ （继电器整定电流）时，则保护装置动作，反之则不动作。由于发电机中空气隙的不均匀，在转子绕组中将存在着脉动的交流电势。为消除交流的影响，避免保护装置的误动作，在继电器 J 回路内串入一电感 L ，该电感对交流电流感抗很大，而对直流电流的电阻则很小。

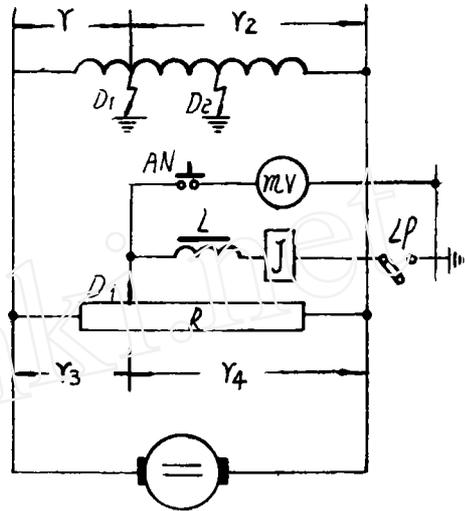


图 1

尽管目前所用的转子绕组二点接地保护曾作了一些改进，可是仍存在着一系列缺点，其中主要有：

(1) 保护装置有死区。当第二个故障点 D_2 发生在距第一个故障点 D_1 愈远，通过继电器 J 中的电流就愈大。如果第二个故障点发生在 D_1 点附近，则电流很小，当 $I_1 < I_2$ 时保护装置就不能动作。

在个别情况下，这种保护装置可能有100%死区。例如第一个接地点发生在转子滑环附近时，则不论第二个接地点发生在什么地方，保护装置都不会动作。

(2) 当第一个接地点位于励磁系统的励磁回路中时，保护装置不能使用。因为在改变磁场电阻时，保护装置可能发生误动作。

(3) 在不降低保护灵敏度的条件下，继电器很难避越由转子绕组脉动交流电势所产生的交流电流。这种情况对水轮发电机来说尤为严重。

(4) 若第一个接地故障是不稳定的，则二点接地保护装置就无法投入。

(5) 无刷励磁的发电机不能采用。

(6) 保护装置只能在发生一点接地后才能投入。前面已经讲了，对于双水内冷发电机，由于漏水所引起的二点接地故障，时间很快。现有的保护装置需人工调平衡后才能投入，往往在调平衡过程中，转子已受到严重损坏。目前我国某电厂30万千瓦双水内冷机组已发生过这样的事例。

总之，现有的转子二点接地保护方案是不完善的，使用中有很多缺陷。

近年来国内外已研制了特性优良的转子一点接地保护, 是否还有必要改进转子二点接地保护呢? 我们认为: 如果确有性能可靠, 灵敏度高而且是经常投入运行的(即不需要在发生一点接地后再投入)转子二点接地保护装置, 那么无论汽轮发电机或水轮发电机都应装设这种保护装置。这样做的理由是: 转子一点接地故障对一切发电机并不造成任何危险。根据我国情况该机应继续运行直到计划检修再停机, 但是如果没有完善的转子二点接地保护, 则有可能发展为严重故障而损坏转子。至于水轮发电机, 目前只装设一点接地保护而不装二点接地保护, 一点接地保护直接作用于跳闸。其理由显然是担心转子二点接地故障对水轮发电机危害更大, 而且又没有合适的转子二点接地保护。

由此可见, 研制新型的转子绕组二点接地保护对发电机的安全运行, 减少停机时间是有必要的, 对大型机组的发展尤其需要。

三、汽轮发电机转子绕组二点接地故障时的电 量分析:

我们知道同步发电机气隙磁密的分布, 在两倍极距(2τ)长度内, 一般是非正弦曲线。正常运行的发电机磁密分布曲线的特点是, 所有极的曲线相同, 转子的一对同名极的磁密曲线是对称于横坐标轴的周期性曲线。

当转子绕组发生二点接地时, 由于转子绕组部分被短接, 使转子磁场发生畸变, 对称性被破坏。由谐波分析理论得知, 对称于横坐标轴的周期性曲线展开为傅立叶级数, 其正弦曲线中只有奇数项。当这个对称性受到破坏时, 就产生偶次谐波。发电机转子绕组匝间短路也产生同样谐波。

众所周知, 定子电势随时间变化的波形与两倍极距长度磁密变化波形相同, 只是比例有所不同。在空气隙磁密曲线内的所有高次谐波在定子电势曲线中含有同样的百分比。由于发电机正常运行时磁密曲线中无偶次谐波, 故定子电势也无偶次谐波。而当同步电机空气隙磁密的分布对称性遭到破坏时, 定子电势中将产生偶次谐波。下面具体分析。

(一) 转子绕组二点接地时定子谐波电势的分析:

(1) 两极隐极机:

分析的基本方法是把故障绕组看作正常状态迭加一个反向激磁安匝, 后者即二点接地故障的短路安匝。

为分析简单起见, 虽然隐极机转子绕组是分布的, 我们仍以集中绕组来处理故障绕组的反向激磁安匝, 这样做对短路匝数不多的情况来说还是可以的。分析仅限于稳定状态, 因为转子二点接地保护是有延时的。

设 k 为一个磁极下转子绕组被短路的百分数。

B_1 为气隙基波磁密幅值。

y 表示被短路部分的空间位置, 如图2所示。

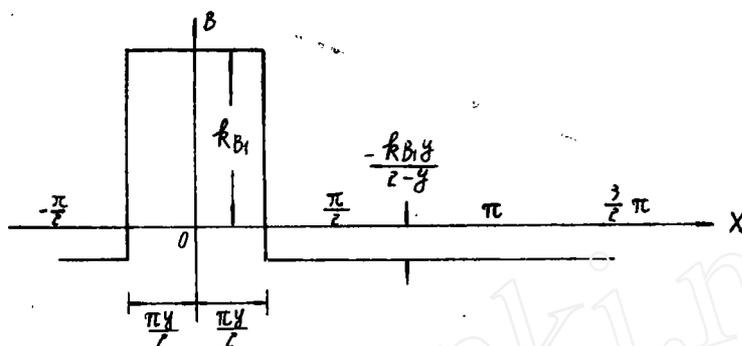


图 2

根据磁通的连续性原理, 正向磁密波高为 kB_1 , 反向磁密波高为:

$$kB_1 \cdot \pi y \cdot \frac{1}{2\pi - \pi y} = \frac{k \cdot B_1 \cdot y}{2 - y}$$

用傅氏级数公式求得二次谐波磁密幅值为:

$$a_2 = \frac{2}{\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} k \cdot B_1 \cdot \cos 2x dx + \frac{2}{\pi} \int_{\pi/2}^{3\pi/2} \left[\frac{\pi y}{2} - \frac{k \cdot B_1 \cdot y}{2 - y} \right] \cos 2x dx$$

$$= \frac{2k \cdot B_1}{\pi(2 - y)} \sin y \cdot \pi \quad (2)$$

$$b_2 = 0 \quad (3)$$

∴ 定子绕组二次谐波电势 E_2 对基波电势 E_1 之比为:

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{K \delta_2}{K \delta_1} \cdot \frac{B_2}{B_1}$$

$$= \frac{K \delta_2}{K \delta_1} \cdot \frac{2k}{\pi(2 - y)} \sin y \cdot \pi \quad (4)$$

B_1, B_2 分别为基波和二次谐波磁密。

$K \delta_1, K \delta_2$ 分别为基波和二次谐波的绕组系数。

考虑到现代大型发电机的实际可能数据, 取基波分布系数 $K_{P1} = 0.96$, 基波短距系数 $K_{Y1} = 0.92 \sim 0.95$, 则基波绕组系数 $K \delta_1 = 0.88 \sim 0.91$ 。

为探讨可能产生的最小二次谐波电势大小, 取 $K_{P2} \approx 0.825$, $K_{Y2} \approx 0.588$, $K \delta_2 \approx 0.485$ 。故有

$$\left(\frac{E_2}{E_1} \right)_{\min} = 0.35 \cdot k \cdot \frac{\sin y \cdot \pi}{2 - y} \quad (5)$$

若短路线匝刚好在绕组中部, 即 $y = 1$, 则有 $E_2 = 0$ 。因为 $y = 1$ 的短路线匝对X轴来说, 上下波形完全对称, 如前所述则恒无偶次谐波产生。所以我们说, 如果二点接地故障发生的部分是完全对称于X轴的, 那么不管被短路部分有多大, 均无二次谐波电势产生。

一般发电机转子大齿约为极距的30%，所以y的最小可能值为0.30，当短路匝数为k = 5%时，有：

$$\frac{E_2}{E_1} = 0.35 \times 0.05 \times \frac{1}{2 - 0.3} \sin 0.3 \times 180^\circ = 0.8\%$$

所以可看出在发生转子二点接地故障时，只要y ≠ 1，总是伴随产生定子侧的二次谐波电势，但数值不大。

用N表示转子槽数，m表示大齿宽度，n表示从转子横轴开始算起的转子槽序数，则：

$$y = 1 - \frac{2(1-m)}{2N-1} (2n-1) \quad (6)$$

$$K = \frac{1}{N} \quad (7)$$

以国产5万KW汽轮发电机为例，N = 14，m = 0.3，今计算临近转子横轴的一个槽中（n = 1，如图3所示）绕组被短路的二次谐波电势大小。这是y ≠ 1时一个槽的绕组被二点接地短路所产生的最小二次谐波电势值。它的大小为：

$$n = 1 \text{ 时, } y = 0.95, \quad \frac{E_2}{E_1} = 0.37\%$$

可见二次谐波电势是非常小的。

下面的一组实际分析数据是当n = 2 …… 7时二次谐波电势大小。

n = 2	y = 0.845	e ₂ = 0.54 × 0.0185 = 1%	e ₂ = $\frac{E_2}{E_1}$
n = 3	y = 0.74	e ₂ = 0.54 × 0.0262 = 1.41%	
n = 4	y = 0.638	e ₂ = 0.54 × 0.304 = 1.64%	
n = 5	y = 0.533	e ₂ = 0.54 × 0.031 = 1.67%	
n = 6	y = 0.43	e ₂ = 0.54 × 0.0265 = 1.43%	
n = 7	y = 0.326	e ₂ = 0.54 × 0.0234 = 1.26%	

另外一种情况，若一个接地点位于中性线，另一点在n = 1，……7，那么此时定子电势中二次谐波量则有：

第1槽被短接：	e ₂ = 0.54 × 0.00678 = 0.37%
第1.2槽被短接：	e ₂ = 0.54 × 0.0253 = 1.37%
第1—3槽被短接：	e ₂ = 0.54 × 0.0515 = 2.77%
第1—4槽被短接：	e ₂ = 0.54 × 0.0819 = 4.42%
第1—5槽被短接：	e ₂ = 0.54 × 0.113 = 6.1%
第1—6槽被短接：	e ₂ = 0.54 × 0.139 = 7.5%
第1—7槽被短接：	e ₂ = 0.54 × 0.162 = 8.76%

由此可见，以二次谐波为动作因素的转子二点接地保护其动作电压应在千分之几的水平。

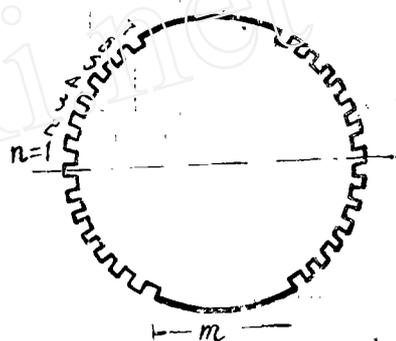


图 3

(2) 四极隐极机

特大的隐极发电机转子往往做成四个极，这种四极隐极机在转子绕组二点接地时有它的特征：

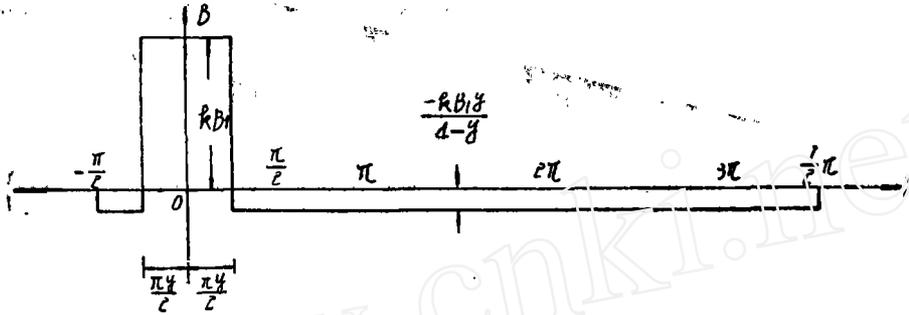


图 4

根据图 4 所示，作付氏级数谐波分析，它的最低次谐波为 $\frac{1}{2}$ 次，即 25Hz，其大小为：

$$\begin{aligned} a_{\frac{1}{2}} &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi y} 2 k \cdot B_1 \cos x dx + \frac{1}{\pi} \int_{\frac{\pi y}{2}}^{2\pi} \frac{-k \cdot B_1 \cdot y}{4-y} \cos x dx \\ &= \frac{k B_1}{\pi} \cdot \frac{4}{4-y} \sin \frac{\pi y}{2} \end{aligned} \quad (8)$$

$$b_{\frac{1}{2}} = 0$$

$$\therefore \frac{E_2}{E_1} = \frac{K_0 \delta \cdot 2}{K_0 \delta \cdot 1} \cdot \frac{4 k}{\pi (4-y)} \sin \frac{\pi y}{2} \quad (9)$$

二次谐波 (100Hz) 幅值为：

$$\begin{aligned} a_2 &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi y} 2 k \cdot B_1 \cdot \cos 4 x dx + \frac{1}{\pi} \int_{\frac{\pi y}{2}}^{2\pi} \frac{-k \cdot B_1 \cdot y}{4-y} \cos 4 x dx \\ &= \frac{k \cdot B_1}{\pi (4-y)} \sin 2 \pi y \end{aligned} \quad (10)$$

$$b_2 = 0$$

$$\therefore \frac{E_2}{E_1} = \frac{K_0 \delta \cdot 2}{K_0 \delta \cdot 1} \cdot \frac{k}{\pi (4-y)} \sin 2 \pi y \quad (11)$$

对于四极隐极机，转子绕组二点接地故障的显著特征是定子电势中含有 25Hz 的 $\frac{1}{2}$ 次谐波，也有数量较小的二次谐波。

(3) 转子绕组的一个极被二点接地故障完全短路时的定子谐波电势。

为了估计当转子绕组发生二点接地故障时定子谐波电势大小的变化范围，下面分析一下一个极转子绕组被完全短路的情况。分析仍限于稳态。

(1) 两极隐极机

分析方法如前, 但不再能把短路安匝看作是集中的, 为简化分析, 把实际的阶梯形气隙磁密分布视为正弦波分布。如图 5 所示。

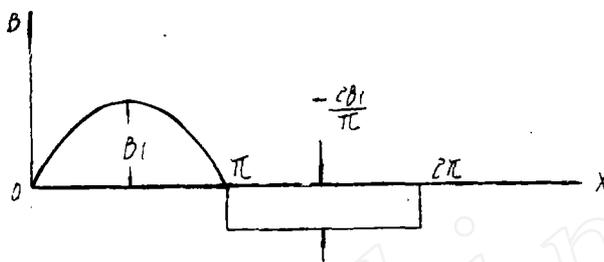


图 5

此时二次谐波幅值为:

$$a_2 = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} B_1 \sin x \cos 2x dx + \frac{1}{\pi} \int_{\pi}^{2\pi} \frac{-2B_1}{\pi} \cos 2x dx$$

$$= \frac{-2B_1}{3\pi} \quad (12)$$

$$b_2 = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} B_1 \sin x \cdot \sin 2x dx + \frac{1}{\pi} \int_{\pi}^{2\pi} \frac{-2B_1}{\pi} \sin 2x dx$$

$$= 0 \quad (13)$$

$$\therefore \frac{E_2}{E_1} = \frac{K_0 \delta_{.2}}{K_0 \delta_{.1}} \cdot \frac{2}{3\pi} \approx 11\%$$

这是汽轮发电机转子二点接地故障时最大可能产生的二次谐波电势理论估算值。

(II) 四极隐极机

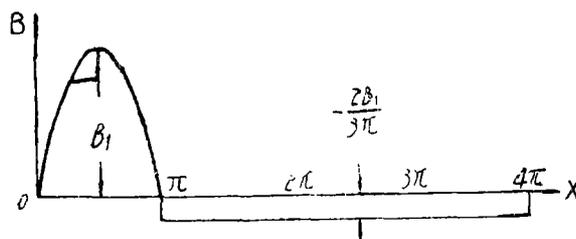


图 6

如图 6 所示。由第 (2) 小节所述, $\frac{1}{2}$ 次谐波电势幅值为:

$$a_{\frac{1}{2}} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} B_1 \sin x \cdot \cos x dx + \frac{1}{2\pi} \int_{\pi}^{4\pi} \frac{-2B_1}{3\pi} \cos x dx$$

$$= 0 \quad (14)$$

$$b \frac{I}{2} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} B_1 \sin x \cdot \sin x dx + \frac{1}{2\pi} \int_{\pi}^{4\pi} \frac{-2B_1}{3\pi} \sin x dx$$

$$= \frac{3\pi^2 + 8}{12\pi^2} \cdot B_1 \quad (15)$$

$$\therefore \frac{E_2}{E_1} = \frac{K_0 \delta_{.2}}{K_0 \delta_{.1}} \cdot \frac{3\pi^2 + 8}{12\pi^2}$$

$$= 0.32 \cdot \frac{K_0 \delta_{.2}}{K_0 \delta_{.1}} \quad (16)$$

(二) 定子电枢反应对转子绕组二点接地时定子谐波电势的影响:

以上分析仅为发电机空载运行时的情况。本节将定性地讨论一下发电机带上负荷后, 上述谐波电势是增加还是减小?

(1) 三相负荷正常运行状态:

无论负荷是感性或容性, 定子电枢反应只能改变气隙磁势(磁密)的大小, 即只能影响定子电势基本波的大小, 它不会破坏气隙磁势相对磁极横轴的对称性, 因而不会有二次谐波分量(对汽轮发电机而言)定子电势。

考虑到一般负荷是感性的, 其电枢反应是祛磁性质, 因而在同样额定端电压运行条件下, 带负荷运行的发电机的激磁电流当然比空载时为大。可见在额定端电压条件下, 有载的发电机发生转子二点接地故障将有较大的上述谐波电势, 即负荷使这种谐波电势增大了。

如果三相负荷不对称, 则定子电势中将含有 3、5、7 次等奇次谐波分量, 它完全不同于转子二点接地故障时的偶次, $\frac{1}{2}$ 次谐波。

(2) 外部对称或不对称短路

在外部短路情况下, 发电机稳态的定子残电压中将只有奇次谐波分量。

在外部短路的暂态过程中, 一般总有或大或小的非周期分量定子电流, 这时定子电压中必然伴随有偶次谐波分量, 它和转子绕组二点接地故障现象有相似之处。为了区分这两种不同的故障, 保护装置可以采用阶段时限配合或附加闭锁措施。

(3) 定子绕组具有并联分支时, 由于在并联分支绕组中含有相应谐波的均衡电流, 其电枢反应将会削弱由转子二点接地故障所产生的谐波电压, 至于削弱到何种程度尚难作出理论上的数值估计。我们曾对一台双星形绕组的 10 万千瓦汽轮发电机在发生转子绕组部分匝间短路情况下实测定子端电压, 测出约有 0.3% 的二次谐波电压; 而正常的发电机端电压中二次谐波电压总在 0.1% 以下。我们所研制的转子二点接地保护装置在二次谐波电压达 0.25~0.5% 时能可靠地动作, 因此实现这种保护方案是可能的。

(三) 利用定子二次谐波或分数谐波电压原理构成转子二点接地保护的问题:

根据目前进行的理论分析和试验研究, 这种原理的转子二点接地保护装置将很少有死区(从理论上讲, 仅当两个接地故障点完全对称于横轴时才有死区)。但是它不能区分转子绕组匝间短路故障和两点接地故障, 因为它们对定子绕组谐波电压的产生具有相同作用。对于匝间短路, 只要不引起发电机的严重振动或过多地减少无功出力, 一般可以连续运行, 伺机计划检修, 不必紧急停机。转子二点接地故障则有烧伤转子本体的严

重危险，尤其是对于转子电流超过1500安的发电机，因而要求保护动作跳闸。所以从两种故障的处理来看保护装置最好能加以区别，但是目前还没有找到更为合适的新原理和新方案。

所以对二次谐波原理构成的保护装置在使用中可针对具体机组情况拟作如下处理，可弥补其原理的不足。

(1) 对于中小型发电机，一般激磁电流小于1500安，转子二点接地故障与转子匝间短路故障对发电机和系统安全运行的危害是差不多的。所以可用二次谐波原理构成的保护装置同时反映两种故障，保护的動作值应相当于机组所允许的震动程度或无功出力降低的限度。

(2) 对于激磁电流大于1500安的大型发电机，目前国内实际运行已经有在转子一点接地后停机的情况。为了更好地确保大型机组的安全，同时尽量减少不必要的停机，我们认为将谐波原理构成的转子二点接地保护的出口接点与转子一点接地保护的出口接点串联作用于跳闸是合理的。如图7所示，当只有转子一点接地保护动作时发出“转子一点接地”信号，只有转子二点接地保护动作时发出“转子匝间短路”信号，两种保护同时动作时发电机跳闸并灭磁。

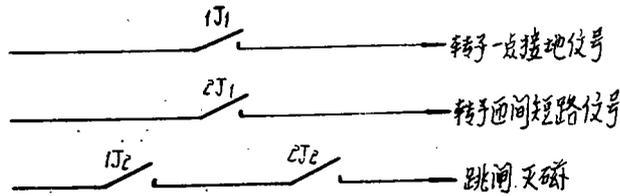


图 7

其中1J为转子一点接地保护，2J为转子二点接地保护。

这样处理，同样会把下述故障（如图8所示），发电机匝间短路运行时，又发生另一处一点接地故障，这样，保护将处理为两点接地故障而使发电机停机。但是从大型机组的安全角度出发，这样处理不能认为是过份的。



图 8

四、BD-14型转子二点接地保护装置:

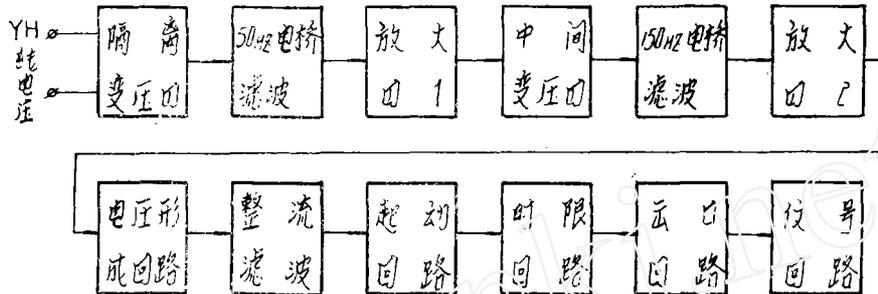


图 9

BD-14型转子二点接地保护装置的原理方框图见图9。原理接线图如图10所示。下面我们将按方框图的顺序逐一加以简单介绍。

(1) 隔离变压器GB主要使保护装置与YH二次隔离,并在隔离变压器上加设抗干扰措施,免致各种干扰波进入保护装置而引起误动作。

(2) 50Hz桥式滤波电路:

正常运行时,本保护装置接入电压互感器YH二次100V50Hz回路,发电机二点接地故障时产生的二次谐波电压对基波电压来说所占的比例是很小的。为使保护装置能准确反映二次谐波电压变化的大小,首先应从YH二次电压中滤去绝大多数的基波及小量三次以上谐波,提取二次谐波电压值。桥式滤波电路正是起到这一作用。

50Hz电桥滤波电路的分析:

(I) 正常50Hz运行时,不应使YH负载太大。电桥对YH的等效负载约为4K,所以消耗功率P约为2.5伏安。

(II) 电桥的构成如图11所示。正常运行时,电桥对50Hz电压来说没有输出(或输出极小,仅达原输入电压的万分之二)。此时电桥是平衡的。其条件为:

$$\frac{\dot{Z}_1}{\dot{Z}_2} = \frac{\dot{Z}_3}{\dot{Z}_4} \quad (17)$$

因为在 \dot{Z}_3 的一臂中接入一个100Hz的并联谐振电路(即 $2\omega L_1 = \frac{1}{2\omega C_1}$),则在通入50Hz电压时 \dot{Z}_3 呈阻——感性,略去电感中的电阻 r_{L1} ,则

$$\dot{Z}_3 = R_3 + j\omega L_1 \parallel -j\frac{1}{\omega C} = R_3 + j\frac{4}{3}\omega L_1 \quad (18)$$

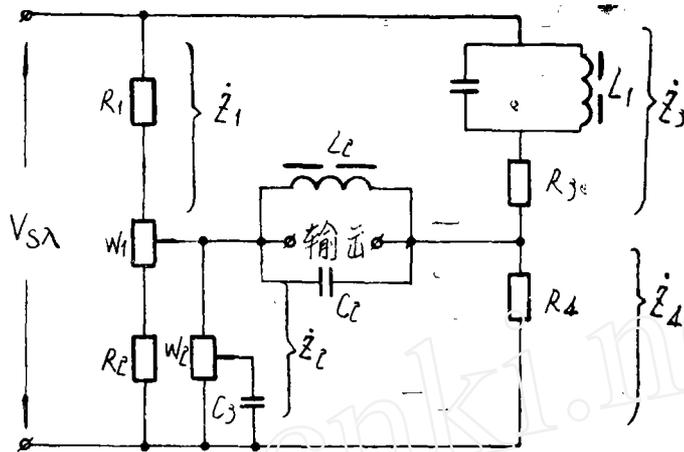


图 11

所以我们在 Z_2 的一个臂上附加“一个大阻值电位器 W_2 并接一小电容 C_3 ”的方式，使 Z_2 在 50Hz 频率下呈阻一容性，在选择适当参数的情况下完全可以做到使：

$$\dot{Z}_3 \cdot \dot{Z}_2 = \dot{Z}_1 \cdot \dot{Z}_4 = R_1 \cdot R_2$$

只呈现实部，而虚部为零。即：

$$\begin{aligned} \dot{Z}_2 \cdot \dot{Z}_3 &= (r_3 + jx_3)(r_2 - jx_2) \\ &= r_2 \cdot r_3 + x_3 \cdot x_2 + j(r_2 x_3 - r_3 \cdot x_2) \end{aligned} \quad (19)$$

令 $r_2 x_3 = r_3 x_2$ 即可使 $\dot{Z}_3 \cdot \dot{Z}_2$ 之虚部为零。同时又使 $r_3 r_2 + x_3 x_2 = R_1 \cdot R_4$ ，那么电桥对 50Hz 交流电量来说完全平衡。这样在通入 50Hz 电压时，电桥对角线接入的负载中便无 50Hz 电压输出，或输出极小。同时，对三次及以上谐波也有削弱作用。

为使 100Hz 电压获得最大输出， $L_1 C_1$ 并联谐振电路是选择在

$$2\omega = \sqrt{\frac{1}{L_1 C_1} - \left(\frac{r_1}{L_1}\right)^2}$$

即在 2ω 频率下有最大阻值，从而最大地破坏电桥的平衡，可得到最大的二次谐波电压输出，达到选频的效果。为加强选频效果，我们在电桥对角线中接入一个 L_2, C_2 组成的 2ω 并联谐振电路，这样电桥输出两端的负载阻抗对 100Hz 有最大值，也就是说这种电桥对 100Hz 有最大输出讯号。

(3) 交流放大器 1:

通过第一级 50Hz 的电桥滤波后，在正常运行时，我们可得到由极少量的 $\omega, 2\omega, 3\omega$ 等各次谐波。交流放大器 1 的作用就是将这些交流讯号加以放大，这一放大器中包括有二级交流放大回路和为获得最佳阻抗匹配而设置的射极输出器。为保证保护装置的稳定性，在电路中加入较强的温度补偿措施及抗干扰等措施。避免每一级的放大倍数过大，所以每一级的放大倍数控制得较低，总放大倍数约为 50 倍左右。

(4) 中间变压器 ZYH₁

前一级的放大讯号传递至第二个电桥滤波电路中时，设置一中间变压器

ZYH₁，它起到升压和隔离电联系的作用。

(5) 150Hz电桥滤波电路

与50Hz电桥滤波电路相同，这一电桥滤波器主要是滤去150Hz的交流成分。从理论分析中得知，发电机在三相负荷不对称状态下运行以及外部对称或不对称短路时，定子电势中将有 3ω 、 5ω 、 7ω 等奇次谐波，而且电压互感器本身也将产生一定的三次及以上谐波，其中以三次谐波量较大一些。所以经过第一个放大器输入的电压中有各次谐波，其中还包含有较多的三次谐波。

此电桥与50Hz电桥不同之点为：在150Hz电压下， \dot{Z}_3 呈阻一容性（略去 r_{L1} ）。即，

$$\dot{Z}_3 \approx \dot{R}_3 - j \frac{3\omega L_1}{(3\omega)^2 L_1 C_1 - 1} \quad (20)$$

因而在 \dot{Z}_1 臂中附加并联“一个大阻值电位器 W_2 和并接一小电容 C_3 ”的方式，如图12所示。这样 \dot{Z}_1 也呈阻一容性。

在这里150Hz电压可调至输出为零（或极小）。同50Hz电桥滤波电路一样， 2ω 谐波电压将得到最大输出。并且 ω 、 5ω 、 7ω 等奇次谐波成分也将进一步减少。

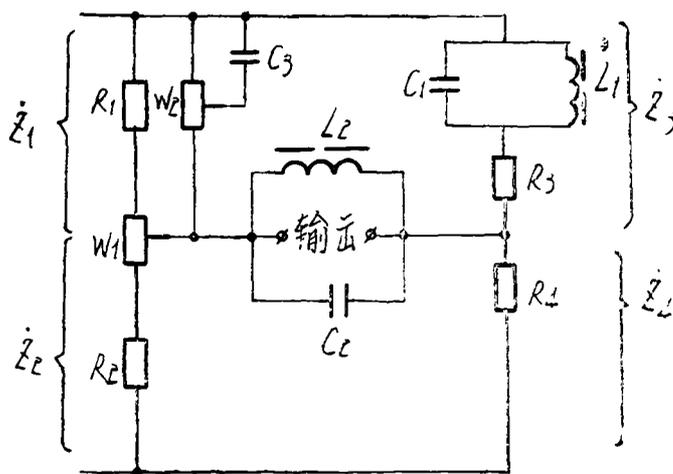


图 12

(6) 交流放大器 2

第2个交流放大器具有同第一个放大器相同的作用，将经过第二次选频后的二次谐波电压进行放大。从而在发电机二点接地故障时能得到较强的信号使保护装置动作。在整定范围内保证其线性度，放大倍数约为50倍。

(7) 中间变压器ZYH₂

经第2个放大器得到的二次谐波交流信号经过中间变压器ZYH₂传递至整流滤波回路。

(8) 整流滤波与整定回路

由 $D_1 \sim D_4$ 二极管, C_{10} 组成的整流滤波电路以及由 W_5 , R_{31} 组成的整定电路, 将ZYH₂传输的二次谐波交流电压整流滤波后得到相应的直流电压。在 W_5 上可得到启动回路所需的工作电压。

(9) 启动回路

由 BG_9 , BG_{10} 组成一典型的两极触发回路, 当 W_5 上所得到的电压足够高时, BG_9 截止, BG_{10} 导通, 延时电路工作。

(10) 时限回路

由 BG_{11} , BG_{12} , BG_{13} 及 W_6 , C_{18} , 时间整定电阻等组成一阻容放电式延时电路, 触发器翻转后经过一定延时, 执行元件动作。延时时间的长短由时间整定电阻值决定。

(11) 出口和信号回路

转子二点接地保护动作后, 由出口继电器ZJ常开接点闭合, 发生跳闸脉冲。

信号回路由继电器XJ, 信号灯XD组成。保护动作后, ZJ启动XJ, XJ点亮就地信号灯, 并向中央信号盘发出动作信号。

五、BD—14型转子二点接地保护的主要技术性能:

1. 交流额定电压: 100V 50Hz
2. 直流额定电压: 220V 允许变化范围为80~110%
110V 允许变化范围为80~110%
48V 允许变化范围为±10%
3. 动作值整定范围: 0.25~0.5V 100Hz
4. 延时整定范围: 0.1~1秒
5. 返回系数不小于0.85
6. 绝缘强度: 继电器带电部分对外壳的绝缘应耐受交流电压50Hz、2000V历时1分钟而无击穿和闪络现象。