

用相位比较法远距离测量振荡中心电压

西安交通大学 张保会

摘 要

为提高安装于刘家峡电厂的PXWK—1型电力系统稳定控制屏中失步予测元件ZZY—1型装置的灵敏性,本文提出用比较系统发电厂或变电所母线电压与联络线传输电流相位的方法远距离测量振荡中心电压。电压测量装置原理简单、适用于系统的任意地区,对于分散安装于各变电所启动切负荷措施的启动装置具有重要意义。样机经简单的动模录波,证明了此方法的可行性。

前 言

在远距离、弱联系的系统联络线上,系统的稳定问题比较突出。监视系统功角原理的系统稳定控制装置不断出现,以便在系统静稳定破坏前减少送端机组出力或在受端切除部分负荷维持系统的稳定运行。当系统遭受较强的扰动可能失去动稳定时,启动快速功率平衡措施如快关送端机组的汽门、导水翼开度、切除部分发电机组、在予定的地点将系统解列、受端切负荷等,提高系统的动稳定能力。

对系统功角的直接测量需要测角装置测量系统两侧电势(或母线电压)的相位,且需要通道传输。测角装置的测量误差加之通道传输的延迟影响功角测量的正确结果,在通道非常拥挤的远距离输电线上实现起来并不容易。

振荡中心电压的高低与系统的功角存在一定的关系,利用振荡中心电压的高低可以反应系统的运行状态,利用振荡中心电压的变化率可以反应系统遭受扰动后系统的摇摆程度。安装于刘家峡电厂的ZZY—1型系统稳定予测装置利用振荡中心电压及其变化率予测系统的失步事故,并在系统失步前快速压导水翼开度或切除部分发电机组,八年来的运行经验表明:装置动作可靠,运行稳定,可提高刘一天一关输电线路的输电能力10%左右。

对于图1的简单系统,振荡中心电压 U_D 与系统功角有关系:

$$U_D = E \cos \frac{\delta}{2} \quad (1)$$

当系统遭受扰动以后,功角 δ 发生摇摆,振荡中心电压波动,在 $(U_D, \frac{dU_D}{dt})$ 的相

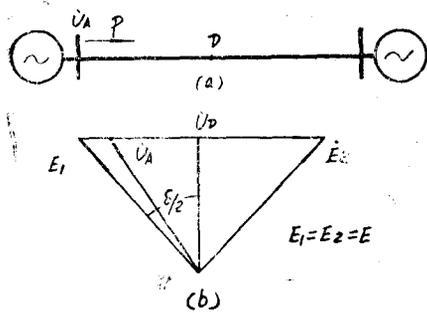


图 1

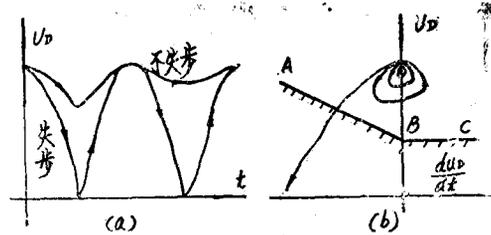


图 2

平面上, $\frac{dU_D}{dt} = f(t)$ 的轨迹如图 2 所示。不失步的摇摆为一个逐渐缩小的“圈”,失步的摇摆则一定会穿过直线 AB,当系统静稳定破坏时, U_D 一定低于直线 BC,以折线 ABC 为继电器的动作特性,可以对因任何原因造成的系统稳定破坏事故起到预测作用。

ZZY-1 型振荡予测装置的单相原理框图如图 3 所示。取刘家峡高压母线电压和 330KV 线路的传输电流经 $U_D = U_{刘} - ZI$ 补偿后得到振荡中心电压,送入 $U_D + K \frac{dU_D}{dt}$ 的运算回路拖动定值为 A_1, A_2, A_3 的三个继电器,按照一定的逻辑关系断

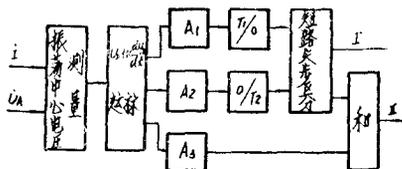


图 3

I 出口为稳定危险警告,
II 出口起动稳定控制措施

定不是短路而是系统摇摆引起振荡中心电压的降低并危及稳定破坏时,装置发出警告信号或起动快速功率平衡措施。

装置中远距离测量振荡中心电压利用阻抗补偿法,当系统运行方式变化时,振荡中心漂移,使得测量的电压 U_D 高于实际的振荡中心电压,降低了装置的灵敏性。对于运行方式变化较大的系统,装置的应用受到限制。

本文为改进振荡中心电压的测量,提出用比较装置安装处母线电压和联络线传输电流相位的方法测量振荡中心电压,并使之不受运行方式变化、两侧电势不等,阻抗角不均匀等因素的影响。更换电压测量部分后的改进样机在简单模拟系统上进行了试验,整套装置性能更好。以下仅就电压测量部分作一介绍。

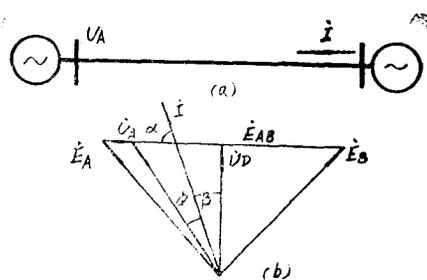


图 4

一、用相位比较法远距离测量振荡中心电压原理

对图 4 (a) 的简单两机系统,假定系统阻抗角均匀,有图 4 (b) 的向量图。振荡中心电压 \dot{U}_D 垂直于两侧电势差 \dot{E}_{AB} , 联络线传输电流 \dot{I} 滞后电势差 \dot{E}_{AB} 的角度为线路

阻抗角 α ，取 \dot{E}_{AB} 的方向为参考，上述关系不随运行状态的改变而异。

令传输电流 \dot{I} 与振荡中心电压 \dot{U}_D 间的夹角为：

$$\beta = 90^\circ - \alpha \quad (2)$$

$\dot{I} e^{-j\beta}$ 的方向就是 \dot{U}_D 的方向，系统中任意一点的电压向量 \dot{U}_A 在 \dot{U}_D 方向上的投影就是 U_D 的大小。

$$U_D = \dot{U}_A \cdot \frac{\dot{I} e^{-j\beta}}{I} \quad (3)$$

$$\text{即： } U_D = U_A \cos(\phi + \beta) \quad (4)$$

ϕ 为 \dot{U}_A 与 \dot{I} 之间的相位角。

补偿角 β 与系统的联系阻抗大小无关，仅与联络线的阻抗角有关，因而不受运行方式变化的影响。

当系统两侧的电势不等时，因不改变 \dot{E}_{AB} 与 \dot{U}_D 的垂直关系，不改变阻抗角 α ，用(4)式仍可正确测量振荡中心电压。

一般说来，系统的阻抗角并不均匀，电压向量如图5所示。按照线路阻抗角 α ，用(2)式正确补偿电流相位 β 角度后，式(4)仍可正确测量振荡中心电压。

对于带有中间负荷、并联电抗器、串补电容器的联络线，会因中间负荷的改变或并联电抗器、串补电容器的投入、退出使联络线的等值阻抗角变化。补偿角 β 按重负荷下

某一固定的阻抗角补偿后，在轻负荷时因阻抗角变化，使测量结果带来误差。设线路等值阻抗角的变化为 $\Delta\beta$ ，振荡中心电压测量结果的误差标么值为：

$$\Delta U_D^* = U_A^* [\cos(\phi + \beta) - \cos(\phi + \beta + \Delta\beta)] \quad (5)$$

由上式看出，误差不仅与误差角 $\Delta\beta$ 有关而且与反应运行状态的电压、电流间相位角 ϕ 有关，因稳定事故总是出在重负荷下，所以补偿应使在重负荷下准确。

例如某联络线等值阻抗角 α 在系统功角 $\delta = 80^\circ$ 时为 76° ，按 $\beta = 90^\circ - 76^\circ = 14^\circ$ 补偿后，当功角 $\delta = 30^\circ$ 即 $\beta + \phi = \frac{\delta}{2} = 15^\circ$ 时， $\alpha = 72^\circ$ ， $\Delta\beta = 4^\circ$ ，此时误差：

$$\Delta U_D^* = U_A^* [\cos(15^\circ) - \cos(19^\circ)] = 1.0 \times 0.02 = 2\%$$

综上所述，用相位比较法测量振荡中心电压可以保证测量精度，而且在需要测量振荡中心电压的系统任何点上都可以方便地使用。

二、测量装置的实现电路

用相位比较法测量系统振荡中心电压，原理电路由电流移相和相敏检波组成，如图

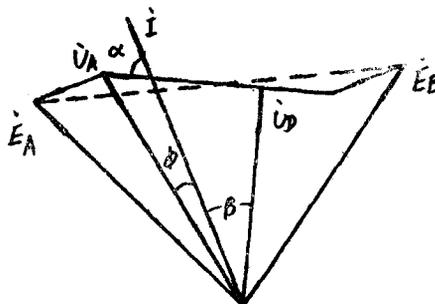


图 5

6 所示

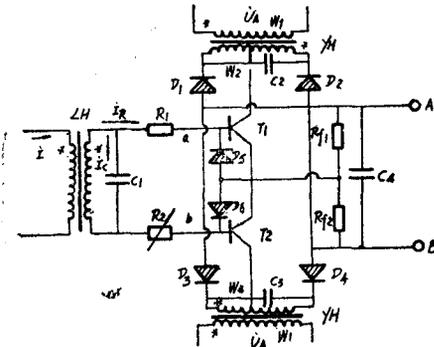


图 6

小型电流变换器 LH 与 C_1 、 R_1 、 R_2 、 T_1 、 T_2 的 be 结组成电流移相回路，将由 CT 来的线路传输电流 \dot{I} 经变换并利用 C_1 移相 β 角度，使 \dot{I}_R 的相位滞后传输电流 \dot{I} β 角度后去控制检波三极管 T_1 、 T_2 的导通与截止。电路设计时注意到 T_1 、 T_2 的导通与截止只与 \dot{I} 的相位有关而与幅值尽可能无关。

按照 (2) 式算出需要移动的角度 β ，用 (6) 式近似估算补偿电容 C 、 $R_1 + R_2$ 的值。

$$\begin{aligned} \therefore \operatorname{tg} \beta &= (I_C - I_L) / I_F = R \left(\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L} \right) \\ \therefore C &= \operatorname{tg} \beta / (R \cdot \omega) + \frac{1}{\omega \cdot X_L} \quad (6) \end{aligned}$$

式中： $R = R_1 + R_2 + 2r_{be}$ ， X_L 为 LH 的励磁感抗。

R 、 C 参数是移相的关键元件，近似估算后在调试中作进一步的修改。

T_1 、 T_2 及四个整流二极管组成相敏检波，电压变换器 YH 是一个带有中间抽头的三绕组变压器，付边绕组 W_2 、 W_3 一定要反极性相接，一次绕组接来自 PT 的母线电压 \dot{U}_A 。由于 T_1 、 T_2 管的突然导通与截止，在 W_2 、 W_3 两端感应高压脉冲， C_2 、 C_3 可以消除这种现象。

相敏检波电路的工作过程为： I_R 经 R_1 、be $_{T1}$ 、 D_6 、 R_2 、LH 的付绕组或 R_2 、be $_{T2}$ 、 D_5 、 R_1 、LH 组成正半周或负半周通路，在 T_1 、 T_2 的 be 结上，由 I_R 相位控制产生矩形波压降，使 T_1 、 T_2 导通、截止。

图 7 给出当 \dot{I}_R 与 \dot{U}_A 的相位差为零度时，各点电压的波形，在输出端 A、B 上有最大的直流电压输出，相应为振荡中心电压 U_D 。相敏电路的输出电压满足：

$$U_{AB} = U_A \cos \phi' \quad (7)$$

式中： ϕ' 为 \dot{I}_R 与 \dot{U}_A 的相位差，即图 4 中 $\phi + \beta$ 。

将相位比较电路测得的结果 U_{AB} 送入图 3

中的 $U_D + K \frac{dU_D}{dt}$ 部分， U_{AB} 的大小反应了振荡中心电压的高低。

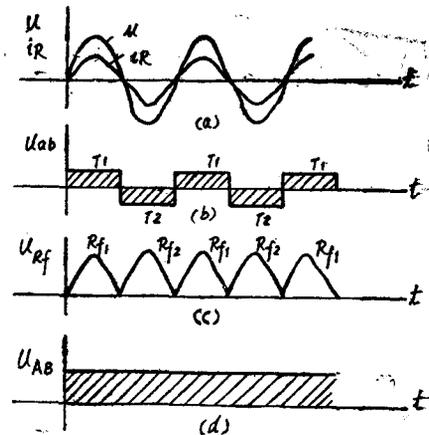


图 7

三、实验结果及模拟录波

1: 电流 \dot{I} 的幅值与输出电压的关系

理论上输出电压 U_{AB} 应与传输电流 \dot{I} 的幅值无关, 仅与电压 \dot{U}_A 的大小和 \dot{U}_A 与 \dot{I} 间夹角有关, 试验结果如表 1。可以看出电流幅值较小时, 相敏电路不能正常工作, 因而在改进的整套装置中加进了小电流闭锁, 在很轻的负荷下, 将振荡予测装置退出工作。

表1 在特定的 ϕ 、 U 下, 电流幅值与 U_{AB} 关系

I_A	0	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	6	7
U_{AB}	0	2.5	2.8	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.45	3.4	3.43	3.4

2、交流电压幅值与输出电压 U_{AB} 的关系

当交流电流 $I = 2.5A$ 、 $\phi = 5^\circ$ 时, $U_{AB} = f(u)$ 的关系如表 2。结果说明保证了线性关系。

表2 $U_{AB} = f(u)$

U_A	0	2	4	6	8	10	12	14	16
U_{AB}	0	0.75	1.6	2.5	3.4	4.4	5.3	6.2	7.1

3、样机在图8所示的单机——无限大母线的简单模拟系统上进行动态录波。

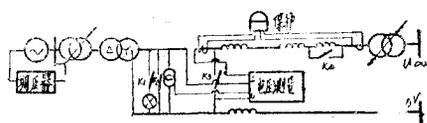


图8 模拟系统单相示意图

系统阻抗 $Z_\Sigma = 15 + j60 \Omega$, $\alpha = 76^\circ$, 模拟机容量 4 KW, $u_{\text{线}} = 320V$, 励磁系统时间常数 0.2 秒, 配有保持母线电压恒定的励磁调节器, 手动调速, K_4 闭合下的极限传输功率 $P_m = 900W$, 负荷 500W。

(1) 补偿角 $\beta = 14^\circ$, 补偿电容估算

为 $1 \mu F$, 在模拟系统上做出 $U_D = U_A \cos(\phi + \beta)$ 的结果如表 3 图 9 所示。

表中 9.7V 为试验时人为取得任意电压比例。

(2) 系统动稳定破坏, 测量得到的振荡中心电压 U_{AB} 与实际振荡中心电压的正半边包络线如图 10 所示, 当 δ 接近 180° 时, 测量电压高于实际电压。

表3 $U_D = U_A \cos(\phi + \beta)$

δ	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	功角
U_D^V 测	0	9.6	8.4	6.7	4.5	2.1	-0.2	测量电压
U_D^* 测	0	0.99	0.866	0.695	0.462	0.22	-0.027	$U_D^{\text{测}}/9.7^V$
U_D^* 计	1	0.96	0.866	0.707	0.5	0.26	0	$\cos \frac{\delta}{2}$

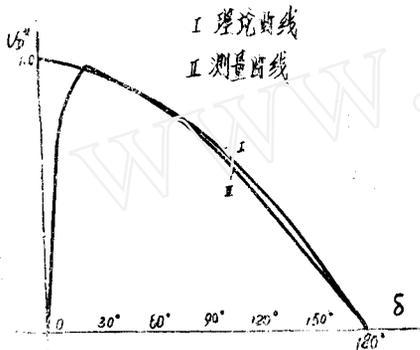


图9

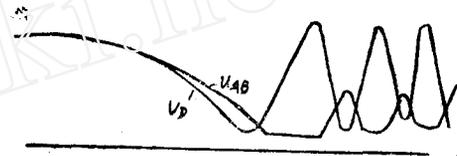


图10

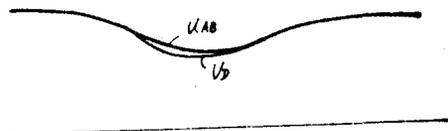


图11

(3) 送端甩负荷, 系统未失步, 波形比较如图11所示。

在上述实验后发现补偿电容 $C_1 = 1 \mu\text{F}$ 未能补到 $\beta = 14^\circ$, 而使测量电压高于实际电压, 将 e_1 改为 $1.3 \mu\text{F}$ 后, 录制波形如图12, 跟踪良好。

(4) 系统静稳定破坏, 波形如图12。

上述录波图中都存在当系统失步后, 测量电压与实际振荡中心电压不能重合, 是因当传输电流太小, 其方向改变的初始阶段相敏电路不能正常工作, 滤波回路的时间常数所致, 但对装置的正常工作并无影响, 该装置是在失步前启动功率平衡措施的, 当稳定破坏后装置的测量已失去意义。

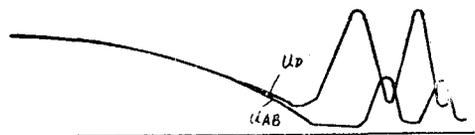


图12

四 结 论

1: 用相位比较法测量振荡中心电压方法简单, 装置可靠。使用在系统任意点上装

置不需要做修改。

2：相位比较法测量振荡中心电压不受运行方式变化、阻抗角不均匀、电势不相等因素的影响，可以紧紧跟踪振荡中心电压。

3：这种方法不仅可用于系统稳定控制装置中，也可用于监视系统电压崩溃，需要监视系统功角的保护装置中。

4：在用微机实现的系统稳定控制装置中，相位比较法测振荡中心电压方法更为简单、补偿角更便于调整。

本文曾蒙冯载生老师热情指导，谨此致谢。

(上接第23)

- (4) 《多支路发电机新型继电保护系统的工业试验》 李蒙 《继电器》
1979年1期
- (5) 《电力系统继电保护》 天津大学
- (6) 《龙羊峡电站32万千瓦发电机及发电机—变压器新型主保护的设计与分析》
李振华 《电站设备自动化》 82—1
- (7) 《龙羊峡电站发电机—变压器组新型大差动保护试验报告》
西北勘测设计院 东方电机厂 1982.7

(上接封三页)

号送入译码器，使之译码打印。在时间打印完了之后，第2片5G658的“9”端输出，使 HF_1 为“1”， HF_2 为“0”。则下一循环，打印“空格”、“百位”、“拾位”、“个位”。每一个循环打印完了之后，均把5G658清零，且把RS触发器置零。这样，须待打印地址与测点地址相符之后，TC为“1”，开始下一个测点打印。 YF_1 处加入停机的信号，是保证打印机处于停机状态时没有干扰信号进入计数器的输入端，从而引起字头的晃动。

输出功放电路是使送到打印机的控制信号具有一定的驱动能力。

自调自检电路使打印系统在不与主机发生联系的情况下，可以独立进行调试。当在运行中出现故障时，也可以脱离主机，方便地进行检查。

ZYD—50综合运动装置打印系统稳定可靠，抗干扰能力较强，调试、维修方便。以国内某电厂三个月的运行记录表明，在三个月昼夜连续运行的情况下，除打字机本身有几次轻微的错位、发卡等故障，电路本身未发现任何故障。可以代替厂站操作人员每天繁重的抄表任务。