

ZZX-2 型转速保护装置拒动原因分析

叶少强

(南二电厂, 福建南靖, 363600)

摘要 根据现场实测永磁机综合输出特性及 ZXZ-2 型转速保护装置的动作特性数据, 拟定整定值方案, 并对水轮发电机组转速保护问题提出技改意见。

关键词 水轮发电机组 转速保护 技改

1 引言

ZZX-2 型转速信号装置在保护线路中作为反映水轮发电机组转速变化的执行元件。在 80 年代及以前投运的中小型水电站, 得到较为普遍的运用。该装置由三相全波整流和五个执行元件组成, 执行元件的电源由永磁发电机供给。其输出压与转速成一定比例, 转速装置内部各元件根据反应不同信号给予一定的整定值。当永磁机的转速达到预定值时, 其电压也达到某整定值, 执行元件分别动作。

在现场安装调试过程中, 若只是简单地认为永磁机的输出电压与转速成一定比例, 并依据 ZXZ-2 型转速信号装置技术说明书进行整定, 就可能导致装置拒绝动作。

2 装置拒动原因分析

2.1 装置拒动问题的出现

我厂原 2 号机组采用 DT-100 型电液调速器控制, 与机械调速器相比具有动作灵敏, 可靠性高等优点, 再加上我厂调保计算较为合理, DT-100 型调整器投“自动”位置下做甩负荷试验, 机组转速上升值不会高达 140% 的额定转速值。1989 年省中试所有专业人员到我厂做机组效率试验, 将调速器切换到“手动”位置进行甩负荷试验, 当机组转速超过 140% 的额定转速时, ZXZ-2 型装置却不动作。作为水力机械三大事故之一的保护装置不动作, 若调速器失灵, 将会给水轮发电机组造成严重威胁。

2.2 现场试验观察及理论分析

2.2.1 对 ZXZ-2 型装置测试分析

ZZX-2 型转速信号装置过速保护元件 3 YJ 是电磁型继电器。试验时采用精密电调专用变频电源,

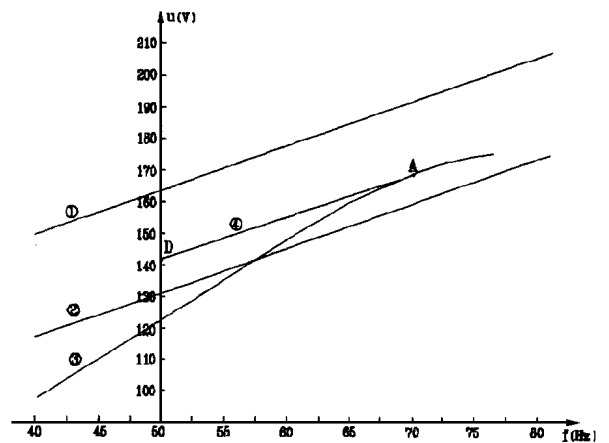
高内阻电压表及数字式周波表, 测出 3 YJ 动作电压与频率的关系数据如表 1。

表 1 3 YJ 动作电压与频率关系试验数据

| 试验电源频率 f /Hz | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 继电器动作电压 /V | 150.0 | 156.6 | 163.3 | 170.0 | 176.4 | 183.2 | 189.5 | 196.6 | 203.4 |
| 继电器动作电压 /V | 118.6 | 125.0 | 131.5 | 138.5 | 144.5 | 151.3 | 158.0 | 164.5 | 171.0 |

注: 表中第一组试验数据是 3 YJ 整定调整把手放在历年我厂惯常整定的 163.34 V 的位置下做出的; 第二组试验数据是 3 YJ 整定调整把手放在面板刻度为 130 V 位置下做出的。

试验时频率由低逐步向高单调增加调整, 在方格纸上描点作出继电器动作电压与频率变化关系曲线, 见附图。注意观察这两条曲线, 会发现这样的实际问题: 3 YJ 的动作值随着频率的变化而发生较大变化。例如, 曲线 频率变化 $\Delta f = 60 - 50$ (Hz), 则 $\Delta u = 176.4 - 163.3 = 13.1$ V。尽管 3 YJ 的调整把



永磁机输出电压与频率关系特性曲线图

注: 3 YJ 在惯常使用整定位置下动作电压随频率变化关系曲线; 3 YJ 整定把手放在 130 位置下动作电压随频率变化关系曲线; 永磁机带电调装置和继电器实际负载随频率变化的输出特性曲线; 能使 3 YJ 准确动作的整定值线。

手位置不相同, 但是做出的两条特性曲线却都近似

为直线,且具有接近相同的斜率。例如:

$$\begin{aligned} \text{曲线 斜率 } K_1 &= \frac{\Delta u_1}{\Delta f_1} = \frac{u_2 - u_1}{f_2 - f_1} \\ &= \frac{176.4 - 163.3}{60 - 50} = 1.31 \end{aligned}$$

$$\text{曲线 斜率 } K_2 = \frac{144.5 - 131.5}{60 - 50} = 1.30$$

为什么 ZZX-2型信号装置3 YJ 的动作电压随频率的变化会出现近乎直线型关系呢?要解释这一现象,需要从3 YJ 电磁型继电器的工作原理谈起,电磁型继电器一般由电磁铁,可动衔铁,线圈,接点,反作用弹簧和止挡等部分构成,按其结构可分为螺管线圈式,吸引衔铁式及转动舌片式三种,这里的3 YJ 是属于转动舌片式。

当线圈中通过电流 I_J 时,在铁芯中即产生磁通 Φ 磁通经过电磁铁,空气隙和衔铁构成闭合磁路,衔铁在磁场作用下被磁化,因而产生电磁力 F_{dc} 。电磁力 F_{dc} 在衔铁上产生电磁转矩 M_{dc} ,如电磁转矩足够大,则衔铁被吸向电磁铁,从而使继电器接点闭合。

按磁场储能定理,自感线圈的磁场总能量为:

$$W_c = L I^2 / 2 \quad (1)$$

$$\text{而 } L = \frac{\Psi}{I} = \mu \frac{N^2 A}{l} \quad (2)$$

式中 L —— 环形线圈的自感;

Ψ —— 自感磁链;

I —— 通过线圈的电流;

μ —— 铁芯的导磁率;

N —— 线圈匝数;

A —— 线圈截面积;

l —— 线圈长度。

将式(2)代入式(1)得:

$$W_c = \mu N^2 A I^2 / 2l$$

线圈中的磁场强度为:

$$H = N I / l$$

于是 $W_c = \mu (N I / l)^2 (A l / 2) = \mu H^2 V / 2$

式中 V —— 环形线圈的体积。

所以单位体积中的磁场能量,即磁场的能量密度为:

$$W_{cd} = \mu H^2 / 2 = B H / 2 = B^2 / (2\mu) \quad (3)$$

磁极间的相互作用的磁场力是磁极中的分子电流引起的。设两极间的距离为 d ,截面积为 A ,磁感应强度为 B ,由式(3)可得,磁极间的磁场能量为:

$$W_c = B^2 A d / 2\mu_0$$

式中 $\mu_0 = \frac{\mu}{1000}$ —— 空气的磁导率。

假设在磁场力 F 的作用下,两个磁极移近了很

小的距离 Δd ,磁场力所做的功为 $F \Delta d$,这个功等于于磁场能量的减少量($-\Delta W_c$)。于是便可求得作用于磁极间磁场力的大小为:

$$|F| = \left| \lim_{\Delta d \rightarrow 0} \frac{\Delta W_c}{\Delta d} \right| = \frac{B^2}{2\mu_0} A$$

作用于单位面积上的磁场力为:

$$|F_0| = \left| \frac{F}{A} \right| = \frac{B^2}{2\mu_0} \quad (4)$$

这一数值正好等于磁场的能量密度。

由此可见,当电磁型继电器(以吸引衔铁式为例)线圈中通入电流 I_J 时,在磁极间所产生的电磁力 F_{dc} 与磁感应强度 B 的平方成正比,也就是与磁通 Φ 的平方成正比(因 $\Phi = BA$),而磁通 Φ 又与磁势成正比,所以

$$F_{dc} = K_1 \Phi^2 = K_1 \cdot N_J^2 I_J^2 / R_m^2 = K_2 I_J^2 \quad (5)$$

式中 N_J —— 继电器线圈的匝数;

R_m —— 磁通 Φ 所经过的磁路的磁阻;

$K_2 = K_1 \frac{N_J^2}{R_m^2}$,其数值与磁阻 R_m 有关,因此,

只当空气隙不变以及电磁铁和衔铁不饱和时,才保持为常数。

由式(5)看出,作用在继电器衔铁上的电磁力 F_{dc} ,与通过继电器线圈中电流 I_J 的平方成正比,因此, F_{dc} 的方向与 I_J 的方向无关。

继电器的电磁转矩 $M_{dc} = K_3 F_{dc}$,为了使继电器动作(接点闭合),电磁转矩必须大于反作用力矩 M_t 和摩擦力矩 M_m 之和,所以继电器动作的边界条件是:

$$M_{dc} = K_3 F_{dc} = K N_J^2 I_J^2 / R_m^2 = M_t + M_m \quad (6)$$

式中 $K = K_1 K_3$

当 I_J 达到一定数值,即满足上式条件时继电器刚好能够动作。能使继电器动作的最小电流值,叫做继电器的动作电流,并用 I_{DZJ} 来表示。

将式(6)中的 I_J 用 I_{DZJ} 代替并移项后得:

$$I_{DZJ} = \frac{R_m}{N_J} \sqrt{\frac{M_t + M_m}{K}} \quad (7)$$

从(7)式可以看出要改变继电器的动作电流,可采用以下几种方法:

- (1) 改变继电器线圈匝数 N_J ;
- (2) 改变空气隙 δ ,即改变磁阻 R_m ;
- (3) 改变弹簧的反作用力矩 M_t 。

在实际运用中,一个继电器线圈匝数 N_J 已由厂家生产制造时固定下来,继电器磁路的磁阻,在空气隙不变以及电磁铁和衔铁不饱和时,才保持为常数。当继电器的整定调整把手放在某一确定的位置时,反作用弹簧力矩也就是固定不变的数值。根据以上

分析,式(7)右边在上述条件下基本上保持常数。

我们可以把继电器视为一个负载,其阻抗值

$$Z_J = \sqrt{R_J^2 + X_{LJ}^2}, \text{根据电工原理可得:} \\ I_{DZJ} = U_{DZJ} / Z_J \quad (8)$$

将式(8)代入式(7)得:

$$U_{DZJ} = Z_J \cdot R_m / N_J \cdot \sqrt{(M_i + M_m) / K} \quad (9)$$

式中: $Z_J = \sqrt{R_J^2 + X_{LJ}^2}$, 当 $R_J < X_{LJ} / 3$ 时, 则: $Z_J \approx X_{LJ}$, 又将 $X_{LJ} = 2\pi f L_J$ 代入(9)

$$\text{得: } U_{DZJ} = 2\pi f L_J \left(\frac{R_m}{N_J} \right) \sqrt{\frac{M_i + M_m}{K}} \quad (10)$$

式中 L_J 是继电器自感, 当空气隙和电磁铁和衔铁不饱和时, L_J 才保持为常数。

式中 $L_J, R_m, N_J, M_i, M_m, K$ 在磁路磁阻不饱和时各量保持常数, 只有永磁机输出电压的频率是变化的。因此我们得到一个重要结论: 电磁型继电器在磁路未饱和、整定把手位置确定, 以及动作气隙不改变的条件下, 其动作电压与频率的关系可以近似地看成是一条按一定斜率关系的直线。

以上通过实验观察和理论分析, 证明电磁型继电器的动作电压是随频率变化而变化。这个问题在有关继电保护专业书本上, 没有作深入的研究, 如果, 我们忽视这个问题, 就会在整定调试时, 留下可能导致继电器拒绝动作的隐患。

对于通过单条高压线路与电网联结的山区水电站而言, 当线路故障开关跳闸而引起全厂甩负荷时, 整个厂的母线电压和频率都在发生变化。此时厂内所有电磁型电压继电器的动作值都将发生变化, 假如与此同时发生短路故障, 这些继电器将不能正确动作, 这个问题应当引起重视。

2.2.2 对永磁机输出特性测试分析

当永磁机带实际负载时, 输出电压与频率的关系曲线。先用实验方法测量出有关数据, 列表描点作曲线图, 再从理论上进行分析研究, 解释这一现象。

试验测试条件, 机组水力机械方面经检修后质量符合规程规定标准, 并经甩负荷考验后查无异常。编写试验大纲, 经有关专业人员集体讨论通过, 将电调切换到“手动”位置, 用手动操作控制调速器导水叶开度, 单向递增机组转速, 用数字式频度计等仪器测得数据记录如表2。

表2 永磁机带实际负载条件下输出电压与频率关系实测数据

| 永磁机输出电压 / V | 99.8 | 111.6 | 123.4 | 135.3 | 147.5 | 158.3 | 167.4 | 172.2 |
|-------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 频率 f / Hz | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 |

在方格纸上描点作出永磁机带实际负载条件下输出电压与频率关系特性曲线, 见附图。注意观察这

条曲线, 当频率 f 从40 Hz 增加到63Hz 时, 永磁机输出电压随频率的变化基本上是按一定比例关系的直线, 当频率 $f > 63$ Hz 时, 特性曲线开始向下发生弯曲。为什么当 $f > 63$ Hz 时, 这条特性曲线会发生弯曲呢? 这是由于DT-100型电液调速装置内有多多个变压器, 例如永磁机电源隔离变压器4BI, 电源变压器3B7, 缓冲信号输入变压器, 相敏输入变压器, 开度测量输出变压器等。当永磁机频率高达63 Hz, 电压约为156 V 时, 此电压加到各变压器上变压器开始饱和, 电流增大, 频率再升高, 电压进一步升高各变压器饱和和电流上升较快, 这些感性电流在永磁机内部产生电枢反应, 结果是“感性去磁”作用, 造成输出电压随频率上升而发生弯曲。

3 历年来的错误整定

我厂历年来对超速保护装置3 YJ 继电器的整定方法是: 在机组额定转速下, 即永磁机输出电压频率为50 Hz 时, 对应测量永磁机电压值为124 V 为依据, 按一定线性比例关系算出, 当转速高到140% 额定转速时(即永磁机电压频率为70 Hz 时), 永磁机电压升高值 $124 \times 140\%$, 并按说明书计算继电器的整定动作值:

$$U_{DZJ} = 124 \times 140\% \times (1 - 3\%)^2 = 163.34 \text{ (V)}$$

式中: $(1 - 3\%)$ 是按 ZZX-2型继电器说明书介绍的频率从25 Hz 变化到50 Hz 应修正减少2-3% 即 $(1 - 3\%)$; 那么从50 Hz 到70 Hz, 也应再修正减小2-3%, 即再乘以 $(1 - 3\%)$, 这样就应修正减少 $(1 - 3\%)^2$ 。

由于历年惯常使用的整定值163.34位置上, 继电器动作电压随频率变化而发生不断增大变化, 而永磁机带电调实际负荷的输出电压随频率变化在 $f > 63$ Hz 时就发生弯曲, 见附图, 直线和曲线没有交点。这从理论上分析说明: 按历年习惯整定方法, 3 YJ 是不会动作的, 这种不符合现场情况的错误整定方法是造成超速保护拒绝动作的直接原因。

4 正确的整定方法

要采取措施彻底消除这个隐患, 在未采取更新改造方法之前, 就必须找出 ZZX-2型转速信号装置的准确整定值。其整定方法是: 根据附图, 继电器两条试验曲线和结合曲线, 我们不难从理论上推断出这样的整定方法。在横坐标轴上 $f = 70$ Hz 处对应曲线上找到点A, 过A点作直线的平行

线,即直线 交纵座标轴为D点,D点电压就是继电器3 YJ 的准确整定值点。

为了证明D点就是正确的整定值点,我们可以进行理论分析。当D点整定值即 $U_{DZ-J} = U_D = 141.5V$ 时,随着机组转速上升,永磁机率上升,ZZX-2型转速信号继电器3 YJ 的动作电压值随频率变化沿直线 上升,在A点处,直线 与曲线 相交,继电器恰好动作。

我们为了证实这一理论分析的正确性,在现场开机做2号机组过速试验。当数字式频率计显示 $f = 70 Hz$ 时,即转速高达140% 额定转速时,继电器动作,喇叭响,过速保护动作于停机且联动关闭主阀。这里证实了理论分析的正确性。

然而,只要我们注意观察附图的直线 和曲线 并不是在A点相交,更确切点说应是在A点相切;这里的相切就意味着继电器3 YJ 在A点是处于临界动作状态。如果继电器3 YJ 因轴承变形或其他原因造成反作用力矩稍为增大些,则直线 就会在曲线 的上方,两线没有交点,这就必然会造成3 YJ 拒绝动作。为了保证继电器能可靠动作。我们不得不暂时将3 YJ 的整定值略为降低一些,这又留下不能准确整定的隐患。

5 技改建议

ZZX-2型转速信号装置由三相全波整流和五个

执行元件组成,其中1 YJ、2 YJ、3 YJ、4 YJ 均属于电磁型电器。按技术说明书要求:1 YJ 整定值为95%,2 YJ 整定值为85%,3 YJ 整定值为140%,4 YJ 整定值115%。由于各继电器的起始动作气隙,磁场的磁阻也不相同,因此,它们的动作电压随频率变化特性曲线也不相同,要使每一个继电器都能按永磁机实际输出特性曲线正确动作,是很麻烦的事。

近几年来许多老水电厂正在进行技术改造,我省安砂水电厂1992年就选用四川中鼎电气控制公司研制生产的DZK-II、(III)电脑转速测控仪。可取代水轮发电机组转速继电器,同时兼有双路测量频率,机组转速百分比(或实际转速)机组甩负荷及过速试验最大转速记忆等功能的新一代机组自动化控制仪表。该测控仪充分利用单片机特长,实现了精度高功能强、易操作等优点,集频率表、转速表、转速继电器,测试仪表于一体。其测控精度由晶振决定,不用担心转速接点出口值因长期运行而变化,可以免去各转速出口值的常规检验,减少专业人员的工作量,提高可靠性。采用永磁机,发电机电压互感器残压测频,扩宽测量范围。可根据现场需要方便地对6个转速出口值进行整定。建议选用该测控仪。

作者简介

叶少强 男 福建省南靖南二电厂 副总工兼生技科长 工程师
(收稿日期:1998-04-06)

(上接第55页)

2.8 总体损耗率

$$U = 1 + U_1 + U_2 = (1 + 9.8 + 2.38)\%$$

$$= 13.18\%$$

若是弧形闸门,其门框纵梁还应有锥管的性质。

水工金属结构制造材料损耗率表

| 名 称 | 施工组织设计手册 | 87水电建设安装预算定损/% | 建议损耗/% | 备 注 |
|-----------|-----------|----------------|--------|--------------------|
| 直 管 | 5 | 5 | 5 | |
| 弯 管 | 20~ 30 | 15 | 20 | 备料25%,再利用20%,净耗20% |
| 锥 管 | 15~ 20 | 15 | 20 | |
| 岔 管 | 球直径2 m 以下 | | 40~ 50 | |
| | 球直径3 m 以上 | 35~ 40 | 35~ 40 | |
| 刚 性 环 | 15~ 20 | 15 | 20 | 不少于7瓣组合 |
| 伸 缩 节 | 10~ 20 | 15 | 20 | 结构件用料 |
| 平 板 类 闸 门 | | 13 | 13 | |
| 弧 形 闸 门 | | | 15 | |

3 建议结构制造材料损耗

各构件制造材料损耗形成机理的分析,只是在其材料使用范围内的损耗率,还未设计尺寸与实际材料不吻合的丢料;另外在材料使用中“损耗”也能

作一些再利用,综合权全考虑,建议材料损耗值计算见上表。

作者简介

赖德元 男 中国水利水电第十工程局安装分局 总工程师 高级工程师
(收稿日期:1998-06-11)